

ANALISIS KE ATAS PRESTASI KAMERA DIGITAL KOMPAK UNTUK
APLIKASI FOTOGRAMETRI JARAK DEKAT

ANUAR BIN AHMAD

Tesis ini dikemukakan
sebagai memenuhi syarat penganugerahan
ijazah Doktor Falsafah (Geomatik)

Fakulti Kejuruteraan & Sains Geoinformasi
Universiti Teknologi Malaysia

DISEMBER 2005

ABSTRAK

Fotogrametri jarak dekat telah berkembang dengan pesat dan kini ia dikenali sebagai Fotogrametri Jarak Dekat Digital (FJDD). Dalam FJDD, peralatan yang terpenting adalah penderia digital yang terdiri daripada kamera digital, kamera CCD (*Charge Couple Device*), kamera video dan sebagainya. Pada hari ini terdapat berbagai jenis penderia digital dan model di pasaran termasuklah kamera digital. Kamera digital ini terdapat dalam berbagai bentuk, kos, resolusi dan format. Oleh itu pengguna kamera digital perlulah memilih model yang sesuai dan ianya mesti dikalibrasi supaya dapat menghasilkan keputusan berkualiti. Dalam FJDD, banyak kajian telah dilakukan dengan menggunakan kamera digital bentuk 'Single Lens Reflex' (SLR) untuk berbagai aplikasi termasuklah kajian untuk menilai aspek kejituan dan ketepatan. Walaubagaimanapun sangat kurang kajian dilakukan dengan menggunakan kamera digital bentuk kompak untuk menilai aspek kejituan dan ketepatan. Dalam kajian ini, beberapa kamera digital kompak jenama Kodak yang mempunyai tahap resolusi rendah hingga tinggi dan sebuah kamera digital SLR digunakan bagi tujuan menilai prestasi mereka terhadap kejituan dan ketepatan. Dalam kajian ini kamera digital kompak dan SLR dinilai dengan menggunakan set data titik dalam bentuk sasaran pantulan-retro dan bentuk lain (iaitu titik semulajadi atau tiruan). Bagi menjayakan kajian ini, beberapa eksperimen telah dilaksanakan bagi mencapai tujuan kajian. Daripada analisis hasil kajian ini didapati bahawa apabila resolusi kamera digital meningkat, kejituan juga meningkat tetapi fenomena ini tidak berlaku kepada ketepatan. Hasil kajian menunjukkan bahawa tiada korelasi hubungan yang khusus diantara resolusi kamera digital dengan kejituan dan ketepatan. Kajian ini juga menunjukkan bahawa kamera digital kompak berpotensi digunakan untuk aplikasi yang tidak memerlukan kejituan dan ketepatan yang tinggi. Akhir sekali, kajian ini menunjukkan bahawa ketepatan dan kejituan yang diperolehi daripada kamera digital kompak adalah dalam lingkungan dua pertiga ($2/3$) daripada pencapaian kamera digital SLR.

ABSTRACT

Close range photogrammetry has evolved rapidly and today it is known as Digital Close Range Photogrammetry (DCRP). In DCRP, the most important equipment is the digital sensor which comprise of the digital camera, CCD (*Charge Couple Device*) camera, video camera and others. Today there are various digital sensor types and models that are available in the market including digital camera. The digital camera could be of various forms, costs, resolutions and formats. Therefore the user of digital camera should select the appropriate digital camera and it must be calibrated so as to produce quality results. In DCRP, many studies have been carried out using digital camera which utilized 'Single Lens Reflex' (SLR) for various applications including studies to assess the aspects of precision and accuracy. However, not many studies have been carried out using compact digital camera to assess the aspect of precision and accuracy. In this study, several Kodak compact digital cameras ranging from low to high resolution and one SLR digital camera were used to assess their performance against precision and accuracy. In this study, the compact digital camera and the SLR digital camera were assessed using point datasets in the form of retro-reflective target or other form (i.e natural or artificial point). To execute this study, several experiments have been conducted to achieve the aim of the study. From the analysis of the results of this study, it was found that as the resolution of the digital camera increases the precision increases too, however, this phenomenon does not applied to accuracy. The result of this study shows that there is no correlation between the resolution of digital camera and the precision and accuracy. However, this study also shows that the compact digital camera has the potential to be employed in application which does not require high precision and accuracy. Finally, the study shows that accuracy and precision attainable with compact digital cameras are in the order of two-third ($2/3$) of that achievable with SLR digital camera.

KANDUNGAN

BAB	PERKARA	MUKASURAT
	PENGAKUAN	ii
	DEDIKASI	iii
	PENGHARGAAN	iv
	ABSTRAK	v
	ABSTRACT	vi
	KANDUNGAN	vii
	SENARAIJ ADUAL	xiii
	SENARAI RAJAH	xvii
	SENARAI LAMPIRAN	xxii
1	Pengenalan	
	1.1 Pendahuluan	1
	1.2 Tujuan dan Objektif Kajian	10
	1.3 Pernyataan Masalah	10
	1.4 Kepentingan Kajian	14
	1.5 Skop Kajian	14
	1.6 Metodologi Umum dan Had-had Kajian	16
	1.7 Kandungan Tesis	17
2	KAJIAN LITERATUR : ASAS FOTOGRAMETRI DIGITAL, PENGGUNAAN KAMERA DIGITAL DALAM INDUSTRI DAN KALIBRASI KAMERA DIGITAL	

2.1	Pengenalan	19
2.2	Imej Digital	21
2.3	Ciri-ciri Radiometri	23
2.3.1	Persampelan dan Pendigitan Imej digital	26
2.3.2	Hingar Isyarat (<i>Signal Noise</i>)	27
2.3.3	Peranti Gandingan Cas (<i>Charge Couple Device-CCD</i>)	28
2.4	Ciri-ciri Geometri	29
2.5	Pemprosesan Imej Digital	32
2.6	Perkakasan Fotogrametri Digital	34
2.7	Perisian Fotogrametri Digital	34
2.8	Automasi Dalam Fotogrametri Digital	36
2.9	Penggunaan Kamera Digital Dalam Industri	37
2.10	Kalibrasi Kamera Digital	48
2.10.1	Definisi Parameter Kalibrasi	49
2.10.1.1	Jarak Utama	49
2.10.1.2	Titik Utama	50
2.10.1.3	Asalan Fidusial	51
2.10.1.4	Herotan Kanta Jejarian	51
2.10.1.5	Herotan Kanta Tangen	53
2.10.2	Kaedah Kalibrasi Kamera	54
2.10.2.1	Kalibrasi 'On-the-job'	55
2.10.2.2	Kalibrasi 'Self-calibration'	57
2.10.2.3	Kalibrasi Garis Ladung	60
2.11	Kamera-kamera Digital Kompak yang digunakan dalam kajian	61

3 METODOLOGI KAJIAN

3.1	Pengenalan	64
3.2	Perkakasan dan Perisian	68
3.3	Eksperine Medan Ujian Satah	69
3.3.1	Cerapan Sasaran Pantulan-retro	74

3.3.2	Fotografi	78
3.3.3	Pengukuran Imej Digital	83
3.3.4	Pemprosesan Data	85
3.3.4.1	Pemprosesan Data dengan Perisian GAP	85
3.3.4.2	Pemprosesan Data dengan Perisian AUSTRALIS	87
3.4	Eksperimen Medan Ujian Tiga Dimensi	92
3.4.1	Cerapan Sasaran Pantulan-retro	99
3.4.2	Fotografi	101
3.4.3	Pengukuran Imej Digital	103
3.4.4	Pemprosesan Data	104
3.5	Eksperimen Model Blok	104
3.5.1	Model Blok	105
3.5.2	Cerapan Titik-Titik Sasaran	107
3.5.3	Fotografafi	109
3.5.4	Pengukuran Imej Digital	112
3.5.5	Pemprosesan Data dengan Perisian AUSTRALIS	112
3.6	Eksperimen Anjakan	113
3.6.1	Plat Skru	115
3.6.2	Cerapan Sasaran Pantulan-retro dan Titik-titik Kawalan	117
3.6.3	Fotografi	119
3.6.4	Pengukuran Imej Digital	121
3.6.5	Pemprosesan Data dengan Perisian AUSTRALIS	122
3.7	Eksperimen Selinder	123
3.7.1	Selinder	124
3.7.2	Cerapan Sasaran Pantulan-retro	125
3.7.3	Fotografi	127
3.7.4	Pengukuran Imej Digital	129
3.7.5	Pemprosesan Data dengan Perisian AUSTRALIS	129

3.8	Eksperimen Kamera Digital SLR Nikon D70	129
3.9	Eksperimen Medan Ujian Satah bagi Kamera Digital Kompak dan SLR pada pelbagai jarak	131

4 HASIL KAJIAN

4.1	Pengenalan	134
4.2	Hasil Eksperimen Medan Ujian Satah	135
4.2.1	Parameter Kalibrasi Kamera	136
4.2.2	Reja Pengukuran, Kejituan dan Ketepatan Sistem Kalibrasi	137
4.2.3	Kejituan Koordinat dan Jaringan	137
4.2.4	Perbezaan Koordinat Sasaran	137
4.3	Hasil Eksperimen Medan Ujian Tiga Dimensi	145
4.4	Hasil Eksperimen Model Blok	154
4.5	Hasil Eksperimen Anjakan	156
4.6	Hasil Eksperimen Selinder	163
4.7	Hasil Eksperimen Kamera Digital SLR Nikon D70	166
4.8	Hasil Eksperimen Medan Ujian Satah bagi Kamera Digital Kompak dan SLR pada pelbagai jarak	169

5 ANALISIS HASIL EKSPERIMEN DAN PERBINCANGAN

5.1	Pengenalan	170
5.2	Kriteria Kualiti Data Fotogrametri	172
5.2.1	Ketepatan	172
5.2.2	Kejituan	174
5.2.3	Kebolehyakinan	175
5.3	Analisis Hasil Kajian	177
5.4	Analisis Ujian Faktor Varian	179
5.4.1	Medan Ujian Satah	181
5.4.2	Medan Ujian Tiga Dimensi	183
5.4.3	Model Blok	186

5.4.4	Anjakan	187
5.4.5	Selinder	188
5.5	Analisis Ujian Parameter Anggaran	189
5.5.1	Analisis Ujian Parameter Orientasi Dalam	190
5.5.1.1	Medan Ujian Satah	192
5.5.1.2	Medan Ujian Tiga Dimensi	199
5.5.1.3	Model Blok	204
5.5.1.4	Anjakan	206
5.5.1.5	Selinder	210
5.5.2	Analisis Ujian Parameter Tambahan	212
5.5.2.1	Medan Ujian Satah	212
5.5.2.2	Medan Ujian Tiga Dimensi	222
5.5.2.3	Model Blok	232
5.5.2.4	Anjakan	235
5.5.2.5	Selinder	239
5.5.2.6	Profil Herotan Kanta	242
5.6	Analisis Kejituan dan Ketepatan Sistem	252
5.7	Analisis Geometri Jaringan	259
5.8	Analisis Ujian Nisbah Varian	263
5.8.1	Analisis Penggunaan Kamera Digital Kompak dan SLR dalam Lima Eksperimen	265
5.8.2	Analisis Penggunaan Kamera Digital Kompak dan SLR dalam medan ujian satah pada pelbagai jarak	271
5.9	Perbincangan	274
5.9.1	Pengenalan	274
5.9.2	Parameter Orientasi Dalam	275
5.9.3	Parameter Tambahan	277
5.9.4	Reja Pengukuran, Kejituan dan Ketepatan Sistem Kalibrasi	280
5.9.5	Perbezaan Koordinat-koordinat Sasaran	285
5.9.6	Hasil Kamera Digital Kompak SLR Nikon D70 dan perbandingan dengan Kamera Digital Kompak bagi lima eksperimen	290

5.9.7	Perbandingan Prestasi diantara Kamera Digital Kompak dengan SLR berdasarkan pelbagai jarak	292
6	KESIMPULAN & CADANGAN	
6.1	Kesimpulan	294
6.2	Cadangan	299
	BIBLIOGRAFI	303
	Lampiran A-K	321-362

SENARAI JADUAL

NO. JADUAL	TAJUK	MUKASURAT
2.1	Spesifikasi kamera digital SLR Kodak DCS420	44
2.2	Spesifikasi kamera digital SLR Kodak DCS460	46
3.1	Pilihan bagi pemprosesan data medan ujian satah	81
4.1 (a)	Parameter-parameter orientasi dalaman (Medan Ujian Satah: Saiz sasaran 30mm)	138
4.1 (b)	Parameter-parameter kalibrasi kamera (Medan Ujian Satah: Saiz sasaran 10mm)	139
4.2 (a)	Reja Pengukuran, kejituan dan ketepatan sistem kalibrasi (Medan Ujian Satah: Saiz sasaran 30mm)	140
4.2 (b)	Reja Pengukuran, kejituan dan ketepatan sistem kalibrasi (Medan Ujian Satah: Saiz sasaran 10mm)	141
4.3 (a)	Kejituan koordinat dan jaringan (Medan Ujian Satah: Saiz sasaran 30mm)	142
4.3 (b)	Kejituan koordinat dan jaringan (Medan Ujian Satah: Saiz sasaran 10mm)	143
4.4 (a)	Perbezaan koordinat-koordinat sasaran (r.m.s) (Medan Ujian Satah: Saiz sasaran 30mm)	144
4.4 (b)	Perbezaan koordinat-koordinat sasaran (r.m.s) (Medan Ujian Satah: Saiz sasaran 10mm)	145
4.5 (a)	Parameter-parameter kalibrasi kamera (Medan Ujian Tiga Dimensi : Saiz sasaran 30mm)	147
4.5 (b)	Parameter-parameter kalibrasi kamera (Medan Ujian Tiga Dimensi: Saiz sasaran 10mm)	148
4.6 (a)	Reja Pengukuran, kejituan dan ketepatan sistem kalibrasi (Medan Ujian Tiga Dimensi: Saiz sasaran 30mm)	149

4.6 (b)	Reja Pengukuran, kejituan dan ketepatan sistem kalibrasi(Medan Ujian Tiga Dimensi: Saiz sasaran 10mm)	150
4.7 (a)	Kejituan koordinat dan jaringan (Medan Ujian Tiga Dimensi: Saiz sasaran 30mm)	151
4.7 (b)	Kejituan koordinat dan jaringan (Medan Ujian Tiga Dimensi: Saiz sasaran 10mm)	152
4.8 (a)	Perbezaan koordinat-koordinat sasaran (r.m.s) (Medan Ujian Tiga Dimensi: Saiz sasaran 30mm)	153
4.8 (b)	Perbezaan koordinat-koordinat sasaran (r.m.s) (Medan Ujian Tiga Dimensi: Saiz sasaran 10mm)	154
4.9	Parameter-parameter orientasi dalaman: Model Blok	155
4.10	Reja Pengukuran, kejituan dan ketepatan sistem kalibrasi: Model Blok	155
4.11	Kejituan koordinat dan jaringan : Model Blok	156
4.12	Perbezaan koordinat-koordinat sasaran (r.m.s): Model Blok	156
4.13	Parameter-parameter orientasi dalaman: Anjakan	157
4.14	Reja Pengukuran, kejituan dan ketepatan sistem kalibrasi: Anjakan	158
4.15	Kejituan koordinat dan jaringan : Anjakan	158
4.16	Perbezaan koordinat-koordinat sasaran (r.m.s): Anjakan	159
4.17	Perbezaan Nilai Koordinat Dalam Arah Z	160
4.18	Parameter-parameter kalibrasi kamera: Selinder	164
4.19	Reja Pengukuran, kejituan dan ketepatan sistem kalibrasi: Selinder	165
4.20	Kejituan koordinat dan jaringan : Selinder	165
4.21	Perbezaan koordinat-koordinat sasaran (r.m.s): Selinder	165
4.22	Koordinat sentroid dan jejari selinder bagi sistem fotogrametri digital V-STARS dan keempat-empat kamera digital serta perbezaannya	166
4.23	Parameter-parameter kalibrasi kamera: Nikon D70	167
4.24	Reja Pengukuran, kejituan dan ketepatan sistem: Nikon D70	167

4.25	Kejituan koordinat dan jaringan : Nikon D70	168
4.26	Perbezaan koordinat-koordinat sasaran (r.m.s): Nikon D70	168
4.27	Kejituan koordinat bagi kamera-kamera digital kompak dan SLR	168
4.28	Ketepatan koordinat bagi kamera-kamera digital kompak dan SLR	169
4.29	Medan Ujian Satah: Kejituan koordinat bagi kamera digital kompak dan SLR pada pelbagai jarak	169
5.1(a)	Ujian Faktor Varian : Medan Ujian Satah - Saiz sasaran 30mm	182
5.1(b)	Ujian Faktor Varian : Medan Ujian Satah - Saiz sasaran 10mm	182
5.2(a)	Ujian Faktor Varian : Medan Ujian Tiga Dimensi Saiz sasaran 30mm	184
5.2(b)	Ujian Faktor Varian : Medan Ujian Tiga Dimensi Saiz sasaran 10mm	185
5.3	Ujian Faktor Varian : Model Blok	187
5.4	Ujian Faktor Varian : Deformasi	188
5.5	Ujian Faktor Varian : Selinder	189
5.6	Analisis ujian parameter orientasi dalaman berdasarkan sisihan piawai : Saiz sasaran - 30mm	193
5.7	Analisis ujian parameter orientasi dalaman berdasarkan sisihan piawai : Saiz sasaran - 10mm	194
5.8	Analisis ujian parameter orientasi dalaman berdasarkan taburan- t : Medan ujian satah - Saiz sasaran 30 mm	195
5.9	Analisis ujian parameter orientasi dalaman berdasarkan taburan- t : Medan ujian satah - Saiz sasaran 10 mm	197
5.10	Analisis ujian parameter orientasi dalaman berdasarkan sisihan piawai : Medan ujian tiga dimensi -Saiz sasaran 30mm	199
5.11	Analisis ujian parameter orientasi dalaman berdasarkan sisihan piawai : Medan ujian tiga dimensi - Saiz sasaran 10mm	200
5.12	Analisis ujian parameter orientasi dalaman berdasarkan	201

	taburan- t : Medan ujian tiga dimensi - Saiz sasaran 30 mm	
5.13	Analisis ujian parameter orientasi dalaman berdasarkan taburan- t : Medan ujian tiga dimensi - Saiz sasaran 10 mm	203
5.14	Analisis ujian parameter orientasi dalaman berdasarkan sisihan piawai : Model Blok	205
5.15	Analisis ujian parameter orientasi dalaman berdasarkan taburan- t : Model Blok	206
5.16	Analisis ujian parameter orientasi dalaman berdasarkan sisihan piawai : Anjakan	207
5.17	Analisis ujian parameter orientasi dalaman berdasarkan taburan- t : Anjakan	208
5.18	Analisis ujian parameter orientasi dalaman berdasarkan sisihan piawai : Selinder	210
5.19	Analisis ujian parameter orientasi dalaman berdasarkan sisihan piawai : Selinder	211
5.20	Analisis ujian parameter tambahan berdasarkan sisihan piawai : Medan ujian satah- Saiz sasaran 30mm	213
5.21	Analisis parameter tambahan berdasarkan sisihan piawai : Medan ujian satah- Saiz sasaran 10mm	214
5.22	Analisis ujian parameter tambahan berdasarkan taburan- t : Medan ujian satah - Saiz sasaran 30 mm	216
5.23	Analisis ujian parameter parameter tambahan berdasarkan taburan- t : Medan ujian satah - Saiz sasaran 10 mm	219
5.24	Analisis ujian parameter tambahan berdasarkan sisihan piawai : Medan ujian tiga dimensi - Saiz sasaran 30mm	223
5.25	Analisis ujian parameter tambahan berdasarkan sisihan piawai : Medan ujian tiga dimensi - Saiz sasaran 10mm	224
5.26	Analisis ujian parameter tambahan berdasarkan taburan- t : Medan ujian tiga dimensi - Saiz sasaran 30 mm	226
5.27	Analisis ujian parameter tambahan berdasarkan taburan- t : Medan ujian tiga dimensi - Saiz sasaran 10 mm	229
5.28	Analisis ujian parameter tambahan berdasarkan	233

	sisihan piawai : Model Blok	
5.29	Analisis ujian parameter tambahan berdasarkan taburan- t : Model Blok	234
5.30	Analisis ujian parameter tambahan berdasarkan sisihan piawai : Anjakan	236
5.31	Analisis ujian parameter tambahan berdasarkan taburan- t : Anjakan	237
5.32	Analisis ujian parameter tambahan berdasarkan sisihan piawai : Selinder	240
5.33	Analisis ujian parameter tambahan berdasarkan taburan- t : Selinder	241
5.34	Kamera digital kompak dan format kamera	243
5.35	Kekuatan geometri jaringan konvergen	260
5.36	Hasil ujian nisbah varian berdasarkan kejituan koordinat bagi semua kamera digital dan lima eksperimen	267
5.37	Hasil ujian nisbah varian berdasarkan ketepatan koordinat bagi semua kamera digital dan lima eksperimen	269
5.38	Prestasi kamera digital kompak dan SLR bagi ujian nisbah varian	271
5.39	Bilangan sasaran pantulan-retro pada pelbagai jarak bagi semua kamera digital	272
5.40	Hasil ujian nisbah varian berdasarkan kejituan koordinat bagi semua kamera digital dan eksperimen medan ujian satah	272
A.1	Spesifikasi kamera digital kompak Kodak DC50	321
A.2	Spesifikasi kamera digital kompak Kodak DC120	322
A.3	Spesifikasi kamera digital kompak Kodak DC220	323
A.4	Spesifikasi kamera digital kompak Kodak DC280	324
A.5	Spesifikasi kamera digital SLR Nikon D70	325

SENARAI RAJAH

NO. RAJAH	TAJUK	MUKASURAT
2.1	Tanda fidusial	20
2.2	Piksel (a) bentuk segiempat sama dan (b) bentuk octagonal	23
2.3	Matriks dua dimensi yang menggambarkan imej digital (Mushairry Mustaffa, 2000)	24
2.4	Penderia CCD yang diliputi dengan turas RGB	25
2.5	Contoh pendigitan imej analog dan digital (Dowman, 1996)	27
2.6	Kewujudan hingar dalam isyarat yang diterima oleh penderia (Dowman, 1996)	28
2.7	Senibina penderia CCD	29
2.8	Contoh CCD (a) susunan linear dan (b) susunan matrik	30
2.9	Contoh (a) penderia CMOS dan (b) senibina CMOS	39
2.10	Sistem Videogrametri (VM): (a) Luar talian; (b) Masa hakiki	41
2.11	Kamera digital SLR Kodak DCS420	44
2.12	Kamera digital SLR Kodak DCS460	45
2.13	Kamera metrik digital INCA	47
2.14	Jarak utama (c) (Fryer, 1996b)	50
2.15	Contoh herotan kanta jejarian bagi sejenis kanta kamera yang berbagai skala imej (Fryer, 1996b)	52
2.16	Contoh herotan kanta tangen bagi satu kanta yang dipasang pada kamera CCD Pulnix (Fryer, 1996b)	53
2.17	Beberapa bentuk bingkai yang mempunyai koordinat bagi objek kecil, sederhana dan besar (Fryer, 1989)	56
2.18	Contoh medan ujian garis ladung (Fryer, 1989)	60
3.1	Cartalir metodologi kajian	67
3.2	Fotograf slid kalibrasi bagi perisian PhotoModeler	70

	Pro Versi 3.1 yang diambil dari satu arah	
3.3	Fotograf slid kalibrasi bagi perisian PhotoModeler	71
	Pro Versi 5.0 yang menggunakan sasaran berkod	
3.4	Bentuk-bentuk sasaran	72
3.5	Fotograf medan ujian satah	73
3.6	Perlabelan sasaran-sasaran pantulan-retro pada medan ujian satah	73
3.7	‘Total Station’ Topcon GTS702	75
3.8	Jaringan cerapan sudut dari kedua-dua stesen bumi ke sasaran pantulan-retro bagi medan ujian satah	76
3.9	Kaedah persilangan ‘Total Station’ tiga dimensi	77
3.10	Konfigurasi konvergen untuk stesen kamera digital bagi medan ujian satah	80
3.11	Contoh fotograf-fotograf bagi kamera digital kompak	82
3.12	Kedudukan stesen-stesen kamera (sk) normal (n) dan putaran (p)	82
3.13	Bentuk-bentuk sasaran pantulan-retro dalam fotograf	83
3.14	Tetingkap perisian Australis setelah memulakan perisian	90
3.15	Tetingkap pelarasan ikatan ‘self-calibration’	91
3.16	Medan ujian tiga dimensi di University of Otago, Dunedin, New Zealand (Chong, 2003)	93
3.17	Medan ujian tiga dimensi di University of Melbourne, Melbourne, Australia (Fraser, 2003a)	95
3.18	Medan ujian tiga dimensi yang digunakan oleh Shortis <i>et. al.</i> (1998)	95
3.19	Medan ujian tiga dimensi yang dibina oleh Beyer (1992)	96
3.20	Medan ujian tiga dimensi yang digunakan oleh Ahmad dan Chandler (1999).	97
3.21	Fotograf medan ujian tiga dimensi (penjuru dinding)	98
3.22	Perlabelan sasaran pantulan-retro pada medan ujian tiga dimensi	99
3.23	Jaringan cerapan sudut dari kedua-dua stesen bumi ke sasaran pantulan-retro bagi medan ujian tiga dimensi	100
3.24	Konfigurasi konvergen bagi kedudukan kamera digital	102

	bagi medan ujian tiga dimensi	
3.25	Contoh fotograf-fotograf bagi kamera digital Kodak DC50 yang diambil dari sembilan stesen kamera	103
3.26	Fotograf model blok	107
3.27	Perlabelan sasaran-sasaran di atas model blok	107
3.28	Jaringan cerapan sudut dari kedua-dua stesen bumi ke titik-titik di atas model blok	109
3.29	Konfigurasi konvergen bagi kedudukan kamera digital	111
3.30	Fotograf-fotograf bagi kamera digital Kodak DC50 yang diambil dari keempat-empat stesen kamera	111
3.31	Fotograf plat skru dan titik-titik kawalan	116
3.32	Perlabelan sasaran-sasaran pantulan-retro di atas plat skru	116
3.33	Jaringan cerapan sudut dari kedua-dua stesen bumi ke sasaran pantulan-retro di atas plat skru dan titik-titik kawalan	118
3.34	Konfigurasi konvergen bagi kedudukan kamera digital bagi Epok 1 dan Epok 2	120
3.35	Fotograf-fotograf bagi kamera digital Kodak DC50 yang diambil dari keempat-empat stesen kamera untuk Epok 1	120
3.36	Fotograf-fotograf bagi kamera digital Kodak DC50 yang diambil dari keempat-empat stesen kamera untuk Epok 2	121
3.37	Fotograf selinder	124
3.38	Perlabelan sasaran-sasaran pantulan-retro di atas selinder	125
3.39	Penentuan koordinat sasaran pantulan-retro dengan menggunakan sistem fotogrametri digital V-STARS	126
3.40	Konfigurasi konvergen bagi kedudukan kamera digital	128
3.41	Fotograf-fotograf bagi kamera digital Kodak DC50 yang	128
3.42	Kedudukan konvergen kamera digital Nikon D70 bagi medan ujian satah	130
3.43	Kedudukan kamera digital SLR Nikon D70 di sekeliling selinder	131
3.44	Jaringan generik bagi kamera digital SLR Nikon D70 bagi (a) pandangan hadapan dan (b) pandangan sisi	132

3.45	Jaringan generik bagi kamera digital SLR Nikon D70 pada (a) jarak 1.5m dan (b) jarak 3.0m	133
4.1	Perbezaan nilai koordinat Z diantara ‘Nilai Terbaik’ Epok 1 dan 2 dengan semua kamera digital kompak	161
4.2	Perbezaan nilai koordinat Z diantara ‘Nilai Terbaik’ Epok 1 dan 2 dengan semua kamera digital kompak Kodak DC50	161
4.3	Perbezaan nilai koordinat Z diantara ‘Nilai Terbaik’ Epok 1 dan 2 dengan kamera digital kompak Kodak DC120	162
4.4	Perbezaan nilai koordinat Z diantara ‘Nilai Terbaik’ Epok 1 dan 2 dengan kamera digital kompak Kodak DC220	162
4.5	Perbezaan nilai koordinat Z diantara ‘Nilai Terbaik’ Epok 1 dan 2 dengan kamera digital kompak Kodak DC280	163
5.1(a)	Profil herotan kanta jejarian (atas) dan tangen (bawah) bagi medan ujian satah (saiz sasaran 30mm)	244
5.1(b)	Profil herotan kanta jejarian (atas) dan tangen (bawah) bagi medan ujian satah (saiz sasaran 10mm)	245
5.2(a)	Profil herotan kanta jejarian (atas) dan tangen (bawah) bagi medan ujian tiga dimensi (saiz sasaran 30mm)	246
5.2(b)	Profil herotan kanta jejarian (atas) dan tangen (bawah) bagi medan ujian tiga dimensi (saiz sasaran 10mm)	247
5.3	Profil herotan kanta jejarian (atas) dan tangen (bawah) bagi model blok	248
5.4(a)	Profil herotan kanta jejarian (atas) dan tangen (bawah) bagi deformasi (Epok 1)	249
5.4(b)	Profil herotan kanta jejarian (atas) dan tangen (bawah) bagi deformasi (Epok 2)	250
5.5	Profil herotan kanta jejarian (atas) dan tangen (bawah) bagi selinder	251
5.6(a)	Kejituan dan ketepatan jaringan bagi medan ujian satah (30mm)	254
5.6(b)	Kejituan dan ketepatan jaringan bagi medan ujian satah (10mm)	254
5.7(a)	Kejituan dan ketepatan jaringan bagi medan ujian tiga dimensi (30mm)	255

5.7(b)	Kejituan dan ketepatan jaringan bagi medan ujian tiga dimensi (10mm)	255
5.8	Kejituan dan ketepatan jaringan bagi model blok	256
5.9	Kejituan dan ketepatan jaringan bagi anjakan	256
5.10	Kejituan dan ketepatan jaringan bagi selinder	257
5.11	Kejituan dan ketepatan jaringan bagi semua kamera digital yang digunakan dalam lima eksperimen	266
5.12	Kejituan dan ketepatan jaringan bagi kamera digital SLR Nikon D70	267
5.13	Kejituan jaringan bagi semua kamera digital pada pelbagai jarak	273
A.1	Kamera digital kompak Kodak DC 50	321
A.2	Kamera digital kompak Kodak DC 120	322
A.3	Kamera digital kompak Kodak DC 220	323
A.4	Kamera digital kompak Kodak DC 280	324
A.5	Kamera digital kompak SLR Nikon D70	325
G.1	Tetingkap perisian Kodak Picture Easy	337
G.2	Tetingkap perisian AUSTRALIS	337
H.1	Tetingkap perisian Australis setelah memulakan perisian	338
H.2	Tetingkap <i>Australis Preferences</i>	339
H.3	Tetingkap pangkalan data kamera	340
H.4	Memasukkan imej ke dalam ikon kamera	340
H.5	Memasukkan fail sasaran sebagai <i>dirver</i>	341
H.6	Setting untuk pengukuran sentroid dan mod pendigitan	341
H.7	Tetingkap <i>Centroid Calculation Parameters</i>	342
H.8	Tetingkap 'Edit toolbar' utama	342
H.9	Tetingkap <i>Adjustment Control Variables</i>	343
H.10	Tetingkap <i>Bundle Adjustment</i>	344
H.11	Kewujudan ikon <i>Bundle</i> di bawah ikon <i>3D Data</i> selepas proses pelarasan ikatan	345
H.12	Kedudukan sasaran dan kamera dalam bentuk garfik	346

SENARAI LAMPIRAN

LAMPIRAN	TAJUK	MUKASURAT
A	Kamera digital kompak Kodak DC50, DC120, DC220, DC280 dan kamera digital SLR Nikon D70	321
B	Cara untuk menentukan saiz sasaran	326
C	Contoh fail data input cerapan yang digunakan dalam perisian GAP bagi medan ujian satah	328
D	Contoh fail output perisian GAP iaitu koordinat sasaran-sasaran pantulan-retro bagi medan ujian satah	329
E	Senarai koordinat sasaran-sasaran pantulan-retro bagi medan ujian satah	330
F	Ujian faktor varian dan sifir taburan khi kuasa dua c^2	333
G	Tetingkap perisian Kodak Picture Easy dan perisian AUSTRALIS	337
H	Prosidur memproses data dengan menggunakan perisian AUSTRALIS Versi 5.05	338
I.1	Fail output AUSTRALIS : 'bundle.txt' bagi eksperimen medan ujian satah	347
I.2	Fail output AUSTRALIS : 'camera.txt' bagi eksperimen medan ujian satah	354
I.3	Fail output AUSTRALIS : 'residual.txt' bagi eksperimen medan ujian satah	355
J	Sifir taburan t (Dua Hujung)	361
K	Jadual taburan F	362

BAB 1

PENGENALAN

1.1 Pendahuluan

Fotogrametri mempunyai berbagai definisi yang diberikan oleh beberapa pakar fotogrametri. Definisi fotogrametri yang paling populer digunakan adalah definisi yang diberikan oleh Slama (1980) di dalam *Manual of Photogrammetry* seperti berikut:

“the art, science and technology of obtaining reliable information about physical objects and the environment through several processes. These include the process of recording, measuring and interpreting photographic images and patterns of recorded radiant electromagnetic energy and other phenomena”.

Beberapa pakar fotogrametri terkemuka yang lain turut menggunakan definisi yang sama seperti Wolf (1983) dan Karara (1989). Terdapat juga sebahagian daripada pakar fotogrametri memberi definisi fotogrametri dengan sedikit perbezaan, contohnya, Abdul Hamid Tahir (1990) mentakrifkan fotogrametri sebagai satu kajian ilmu sains, seni atau teknik mengenai pengukuran yang dibuat di atas foto yang diambil dengan menggunakan kamera metrik sama ada foto itu diambil dari udara mahupun dari permukaan bumi. Walaubagaimanapun definisi yang dipopularkan oleh Slama (1980) masih diterima dan digunakan oleh pakar-pakar fotogrametri sehingga ke hari ini. Fryer (1996a) memberi definisi fotogrametri berdasarkan

kepada perkembangan dalam bidang komputer dan teknologi elektronik seperti berikut:

“the science and art of determining the size and shape of object after analysing the images recorded either on film or electronic media”.

Daripada penjelasan di atas mengenai definisi fotogrametri bolehlah disimpulkan bahawa fotogrametri boleh dilaksanakan dengan menggunakan kamera metrik dan kamera bukan metrik seperti kamera 35mm, kamera digital, kamera CCD (*Charge Couple Device*) dan kamera video analog. Disamping itu secara umum, pelaksanaan fotogrametri melibatkan tiga peringkat yang penting iaitu data input, pemprosesan data dan data output.

Fotogrametri boleh diklasifikasikan sebagai fotogrametri udara dan bumi. Secara ringkas, fotogrametri udara melibatkan fotograf yang diambil dengan kamera metrik yang diletakkan diperut kapalterbang manakala fotogrametri bumi melibatkan fotograf yang diambil di atas bumi dengan kamera metrik atau kamera bukan metrik.

Dalam fotogrametri bumi, fotograf diambil pada jarak kurang daripada 300 meter dari kamera ke objek (Wolf and Dewitt, 2000). Istilah fotogrametri jarak dekat telah diperkenalkan oleh Cooper dan Robson (1996) di mana jarak objek ke kamera adalah kurang daripada 100 meter hingga ke beberapa sentimeter dan kedudukan kamera adalah hampir kepada objek. Fotogrametri jarak dekat mempunyai ciri-ciri tertentu. Di antara ciri-ciri tersebut ialah hanya beberapa fotograf terpilih boleh diambil atau seluruh fotograf objek diambil dengan kedudukan kamera mengelilingi objek. Dalam proses fotografi, biasanya paksi kamera adalah konvergen dan dihalakan ke pusat objek manakala bagi konfigurasi normal paksi kamera adalah selari ke objek. Disamping itu koordinat titik-titik di atas permukaan objek memerlukan ketepatan yang sama pada keseluruhan objek. Dalam fotogrametri jarak dekat model matematik digunakan untuk menghasilkan koordinat dalam sistem tiga dimensi bagi titik-titik di atas objek. Biasanya koordinat tiga dimensi ini dihasilkan dengan menggunakan kaedah palarasan kuasa dua terkecil dengan darjah kebebasan yang besar. Keputusan fotogrametri jarak dekat biasanya dapat diperolehi dengan cepat selepas fotograf diambil dan seterusnya keputusan tersebut boleh digunakan untuk proses selanjutnya yang berkaitan dengan objek yang diukur. Contohnya,

koordinat yang dihasilkan boleh digunakan untuk membandingkan objek yang diukur dengan saiz dan bentuk sebenar atau dibandingkan dengan set koordinat yang dihasilkan untuk mengesan anjakan objek. Koordinat yang diterbitkan boleh juga diproses menggunakan komputer grafik untuk menghasilkan model tiga dimensi CAD bagi objek yang diukur dan produk-produk lain seperti pelan, pandangan sisi atau keratan rentas dengan menggunakan perisian-perisian yang berkaitan. Satu lagi ciri penting fotogrametri jarak dekat ialah pelbagai masalah pengukuran boleh diselesaikan dengan menggunakan kaedah ini.

Fotogrametri jarak dekat boleh digunakan untuk beberapa aplikasi seperti aplikasi seni bina untuk pemetaan fasad permukaan luar/dalam bangunan bersejarah serta monumen, aplikasi industri seperti industri automobil, penerbangan, perkapalan dan sebagainya serta aplikasi lain seperti fotogrametri perubatan, forensik, arkeologi dan kemalangan. Oleh kerana fotogrametri jarak dekat mempunyai berbagai kegunaan dan aplikasi, *International Society of Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS)* telah memberi pengiktirafan kepada bidang ini dengan meletakkan bidang ini di bawah salah satu daripada tujuh 'commission' iaitu 'Commission V' untuk penyelidikan-penyelidikan dan pakar-pakar fotogrametri membincangkan isu-isu yang berkaitan dan perkembangan bidang ini (Karara, 1989). Pertubuhan ini mengadakan kongres setiap empat tahun bagi membolehkan mereka yang terlibat dalam bidang ini bersidang dan bertukar-tukar pendapat.

Dari segi sejarah fotogrametri jarak dekat, kaedah ini mula-mula diperkenalkan oleh seorang bangsa Perancis iaitu Laussedat. Beliau digelar sebagai bapa fotogrametri (Abdul Hamid Tahir, 1990; Fryer, 1996a). Beliau telah membangunkan satu kaedah pada tahun 1850an untuk pemetaan bandaraya Paris berdasarkan maklumat geometri fotograf yang diambilnya dari atas bumbung bangunan tinggi. Dia menggunakan satu garis dasar yang diukur dan teknik persilangan untuk menentukan butiran dari sepasang fotograf stereo dari satu titik ke titik lain. Konsep kaedah ini masih digunakan hingga ke hari ini. Walaubagaimanapun pada awal abad kedupuluh, Pulfrich yang bekerja dengan Syarikat Zeiss pada masa itu memperkenalkan peralatan baru yang dikenali sebagai stereokomparator yang membolehkan koordinat-koordinat titik imej dari dua fotograf yang diambil secara stereo diukur serentak.

Secara umum, perkembangan fotogrametri jarak dekat adalah sama dengan perkembangan fotogrametri udara sehingga Perang Dunia Pertama di mana kamera udara digunakan untuk mengambil fotograf dan sebahagian daripada pemplot stereo direkabentuk supaya boleh digunakan untuk kedua-dua jenis foto udara dan foto bumi. Walaubagaimanapun selepas tahun 1920an, kegunaan fotogrametri udara begitu menonjol di mana ia digunakan oleh banyak negara di dunia untuk melengkapkan liputan peta bagi sesebuah negara. Dalam fotogrametri udara, fotograf diambil dengan kedudukan paksi optik kamera normal pada permukaan bumi dan selari diantara stesen dedahan. Konfigurasi normal ini digunakan oleh fotogrametri jarak dekat sehingga tahun 1960an. Maklumat lanjut mengenai fotogrametri udara yang membincangkan tentang geometri, kaedah-kaedah, peralatan dan sebagainya boleh didapati di dalam *Manual of Photogrammetry* (Slama, 1980), *Element of Photogrammetry* (Wolf, 1983; Wolf and Dewitt, 2000), *Non-Topographic Photogrammetry* (Karara, 1989) dan *Asas Fotogrametri* (Abdul Hamid Tahir, 1990).

Pada tahun 1970an, ahli-ahli fotogrametri telah menggunakan kamera bukan metrik untuk mendapatkan koordinat tiga dimensi objek. Sebagai contoh, Karara dan Abdel-Aziz (1974) telah menggunakan kamera bukan metrik untuk mendapatkan koordinat tiga dimensi objek dengan memperkenalkan satu kaedah penurunan data yang dikenali sebagai *Direct Linear Transformation* (DLT). Secara ringkas, kaedah DLT melibatkan penyelesaian persamaan kekolinearan di mana koordinat komparator digunakan terus untuk mendapatkan koordinat tiga dimensi objek tanpa memerlukan transformasi koordinat dari koordinat komparator ke koordinat foto. Menurut Fryer (1996a), pada tahun 1970an jurukur dan ahli-ahli fotogrametri telah menggunakan komputer untuk membantu mereka menyelesaikan masalah-masalah yang berkaitan dengan pengukuran. Disamping itu tahun 1970an juga menyaksikan permulaan era fotogrametri analitik. Dalam fotogrametri analitik, model matematik yang digunakan adalah persamaan kekolinearan yang digunakan untuk menentukan kedudukan spatial serta orientasi dalaman dan luaran kamera. Dalam fotogrametri analitik komputer digunakan untuk menyelesaikan persamaan kekolinearan secara interaktif dan dalam pemplot analitik penyelesaian dilaksanakan sekitar 50-100 kali bagi setiap saat oleh komputer sebagai latar belakang sehingga operator dapat

melihat model tiga dimensi yang bebas dari gangguan semasa membuat cerapan atau pendigitan (Wolf, 1983).

Pemplot analitik telah mendapat sambutan yang meluas dari organisasi-organisasi yang terlibat dengan pemetaan dan institusi-institusi pengajian tinggi disebabkan ia boleh digunakan untuk berbagai aplikasi. Diantara punca mengapa pemplot analitik diminati ramai kerana ia boleh menempatkan foto yang diambil dari pelbagai penderia (seperti kamera metrik, kamera separuh-metrik dan kamera bukan metrik), pelbagai jarak fokus, pelbagai konfigurasi fotograf (iaitu sama ada stereo atau konvergen) dan pelbagai format fotograf (iaitu 230mm x 230mm, 60mm x 60mm atau format lebih kecil lagi). Pada tahun 1980an, pemplot analitik telah menjadi alat yang standard untuk berbagai aplikasi sama ada untuk fotogrametri udara atau fotogrametri jarak dekat. Walaubagaimanapun diantara kelemahan pemplot analitik ini ialah kosnya tinggi hingga menyebabkan tidak semua organisasi mampu memilikinya. Pada hari ini masih ada lagi organisasi yang menggunakan pemplot analitik tetapi bilangannya adalah kecil kerana pada awal tahun 1990an menyaksikan kemunculan era fotogrametri digital.

Fotogrametri digital mempunyai beberapa definisi yang dijelaskan oleh pakar-pakar fotogrametri. Menurut Karara (1989), fotogrametri digital melibatkan beberapa proses yang berurutan. Mula-mula fotograf dalam bentuk salinan keras diimbas dengan menggunakan pengimbas atau imej-imej digital diperolehi secara langsung dari kamera digital. Proses seterusnya ialah data digital diperolehi diproses dengan menggunakan perisian tertentu dan menggunakan komputer. Fotogrametri digital juga melibatkan penggunaan piksel dan teknik-teknik pemprosesan imej untuk mendapatkan maklumat geometri. Dengan perkembangan yang pesat dalam perkakasan dan perisian komputer, definisi fotogrametri digital dijelaskan dengan lebih mantap lagi oleh Gulch (1994) dan Petrie dan Walker (1996) yang menyatakan bahawa fotogrametri digital didefinisikan sebagai perkakasan dan perisian komputer untuk menghasilkan produk fotogrametri seperti ortofoto digital, mozek, peta topografi, model ketinggian digital (*Digital Terrain Model*, DTM) dan sebagainya dari imej-imej digital secara semi-automatik atau automatik. Istilah lain yang digunakan untuk fotogrametri digital ialah '*softcopy photogrammetry*'. Bagi fotogrametri udara, fotogrametri digital biasanya digunakan untuk pemetaan dan

ulangkaji peta (*map revision*), ortofoto digital, penyegitigaan udara dan pembentukan model ketinggian digital (Kolbl, 1996; Boniface, 1994). Manakala fotogrametri jarak dekat digital digunakan untuk mendapatkan hasil yang sama seperti fotogrametri udara serta pembentukan model digital tiga dimensi. Disamping itu fotogrametri jarak dekat digital boleh digunakan bagi berbagai aplikasi yang sama seperti kaedah konvensional.

Dalam fotogrametri digital, stesenkerja (*workstation*) adalah '*workhorse*' untuk '*production line*' bagi menghasilkan produk fotogrametri secara automatik dan melaksanakan prosedur orientasi dalaman, relatif dan absolut secara automatik (Heipke, 1997a; 1997b). Di awal era fotogrametri digital, kos bagi satu sistem fotogrametri digital yang mempunyai komponen-komponen seperti komputer, alat perolehan data, contohnya kamera digital, pengimbas dan perisian adalah mahal. Diantara contoh-contoh sistem fotogrametri digital yang terdapat di pasaran pada hari ini ialah Helava DPW 770 (Helava Associates Inc.), VirtuoZo (Republik Rakyat China), Phodis-ST (Carl Zeiss), InterMap Image Station (I²S, Intergraph), PRI²SM (International Imaging System) dan Erdas Imagine (Leica). Di awal era fotogrametri digital juga, kebanyakan sistem fotogrametri digital yang dibentuk menggunakan stesenkerja yang mampu menyimpan banyak data digital serta mampu memproses data dengan pantas (Saleh *et al.*, 1994). Walaubagaimanapun terdapat sebahagian daripada sistem fotogrametri digital menggunakan komputer peribadi.

Pada hari ini, kos sistem fotogrametri digital telah berkurangan kerana terdapat persaingan diantara pengeluar-pengeluar sistem ini. Kini di pasaran telah wujud sistem fotogrametri digital kos rendah yang menggunakan komputer peribadi seperti Desktop Digital Photogrammetric System (DDPS, 3D Mapper Pty. Ltd.), Digital Video Plotter (DVP Geometric System Inc.), PhotoMOD (RACURS, Co.), DiAP (International SysMap Corp.) dan lain-lain sistem. Sistem fotogrametri digital yang tersenarai di atas bukan sahaja mampu memproses imej fotogrametri udara tetapi ia juga mampu memproses imej satelit dan imej fotogrametri jarak dekat. Bagi fotogrametri jarak dekat kini terdapat beberapa sistem fotogrametri digital yang dibangunkan khas untuk bidang ini. Diantara sistem yang berada di pasaran ialah Rolleimetric, FotoG, Sight Model dan Vexcel. Disamping itu pada hari ini terdapat juga beberapa perisian kos rendah untuk fotogrametri jarak dekat di pasaran yang

mudah digunakan bagi menghasilkan model 3D seperti PhotoModeler (EOS System Inc.) dan ShapeCapture (ShapeCapture Inc.). Perisian-perisian ini mudah digunakan serta telah digunakan untuk beberapa aplikasi oleh ahli fotogrametri. Pada hari ini kaedah fotogrametri digital bukan sahaja digunakan oleh ahli fotogrametri tetapi ahli profesional lain seperti polis, jurutera, arkitek, ahli geomorfologi, doktor dan saintis kerana sistem fotogrametri digital boleh dikendalikan oleh sesiapa sahaja tanpa memerlukan kemahiran dan pengetahuan yang tinggi dan mendalam mengenai fotogrametri.

Dalam fotogrametri digital, imej digital boleh diperolehi dengan menggunakan kamera digital, kamera *Charge Couple Device* (CCD) atau kamera video analog. Bagi kamera video analog imej digital diperolehi dengan bantuan pengekang bingkai (*frame grabber*) dan untuk kamera berasaskan filem, imej digital diperolehi dengan membuat imbasan ke atas fotogra. Secara umum, terdapat dua jenis kamera digital yang dikategorikan sebagai kamera digital '*still*' dan kamera video analog. Kamera CCD dikategorikan sebagai kamera video analog. Bagi setiap jenis kamera digital terdapat CCD 'chip'. CCD digunakan untuk merekod jumlah cahaya yang terdapat pada permukaannya. Fungsi CCD adalah menukar photon yang terdapat di atas permukaan penderia kepada isyarat elektronik dan seterusnya kepada format digital. Proses penukaran ini berlaku di dalam kamera digital '*still*' dan proses ini berlaku di luar bagi kamera video analog. CCD disusun dalam bentuk linear atau matrik. CCD dalam bentuk linear digunakan untuk mengimbas sesuatu permukaan dan proses ini mengambil masa. Tetapi CCD dalam bentuk matrik seperti yang terdapat dalam kamera digital '*still*' dapat merekod semua cahaya yang terdapat di atas sesuatu permukaan dua dimensi pada masa dedahan. Pada asasnya, CCD bentuk linear digunakan untuk penderia satelit atau *airborne* manakala CCD bentuk matrik boleh digunakan untuk aplikasi fotogrametri udara dan fotogrametri jarak dekat. Kedua-dua kamera digital '*still*' dan kamera video analog menggunakan penderia CCD dalam bentuk matrik.

Kamera digital '*still*' boleh digunakan untuk mengambil satu imej pada suatu masa dan mempunyai storan yang mampu menyimpan banyak imej digital. Proses pengambilan imej bagi kamera digital adalah sama dengan kamera yang berasaskan filem. Imej dari kamera digital diperolehi secara langsung (Dowman, 1996; Shortis

and Beyer, 1996; McIntosh, 1997a, 1997b) manakala imej digital dari kamera berasaskan filem boleh diperolehi selepas mencuci filem dan membuat imbasan terhadap filem yang telah dicuci (Slama, 1980; Wolf, 1983 dan Karara, 1989). Kamera video analog pula boleh digunakan untuk mengambil gambar yang berterusan sebagai isyarat elektronik pada kadar 30 bingkai atau imej per saat. Biasanya pengekang bingkai digunakan untuk menukar bingkai yang dipilih dengan membuat kekangan imej dari isyarat analog kepada bentuk digital. Imej digital terdiri daripada beberapa bilangan elemen-elemen kecil yang dikenali sebagai piksel. Secara umum, piksel mempunyai bentuk segiempat sama dan saiznya adalah kecil. Penerangan lanjut mengenai piksel diterangkan dalam Seksyen 2.3. Setiap piksel mewakili satu tahap kekelabuan (julat nilai kekelabuan adalah dari 0 hingga 255 di mana nilai 0 adalah hitam dan nilai 255 adalah putih) berdasarkan kepada ketumpatan cahaya pada titik berkenaan (Dowman, 1996). Piksel diukur dalam unit mikrometer (mikron) dan apabila saiz piksel berkurangan biasanya resolusi imej meningkat.

Kamera digital '*still*' atau ringkasnya kamera digital, mempunyai bentuk saiz penderia dan resolusi yang berbeza. Saiz penderia didefinisikan sebagai dimensi fizikal lebar dan tinggi susunan penderia dalam unit millimeter atau inci (Shortis and Beyer, 1996). Resolusi pula di definisikan sebagai bilangan piksel mengufuk didarabkan dengan bilangan piksel menegak (Shortis and Beyer, 1996). Sebagai contoh, satu kamera digital kos rendah (contoh, kamera video analog) mempunyai lebih kurang 700 x 500 piksel yang akan menghasilkan resolusi 350,000 piksel (0.35 Megapiksel). Jika saiz satu piksel ialah 10 μm maka saiz penderia atau dimensi susunan adalah 7 x 5 mm. Saiz sesuatu fail untuk menyimpan data digital bergantung kepada saiz piksel di mana satu piksel bersamaan dengan satu bit. Sebagai contoh, kamera digital yang mempunyai 1,500 x 1,000 piksel memerlukan 1,500,000 piksel (1.5 Megapiksel) atau 1.5 Megabit. Kamera digital yang mempunyai kurang daripada 500,000 piksel, 500,000 ke 1.5 Megapiksel dan melebihi 1.5 Megapiksel masing-masing dikenali sebagai resolusi rendah, sederhana dan tinggi (Shortis and Beyer, 1996).

Diperingkat awal pengeluaran kamera digital, harganya adalah mahal di hujung tahun 1990an dan di awal tahun 2000an. Sebagai contoh, harga kamera

digital kompak Kodak DC120 ialah RM3, 000 bagi 1.2 Megapiksel pada tahun 1999. Harga kamera digital kompak bagi jenama lain adalah mahal juga pada tempoh berkenaan. Pada hari ini, perkembangan teknologi kamera digital yang pesat telah menyebabkan harga kamera digital bertambah murah. Sebagai contoh, pada tahun 2005 pengguna boleh membeli kamera digital kompak mempunyai resolusi melebihi 5.0 Megapiksel dengan harga kurang daripada RM3, 000. Begitu juga dengan kamera digital bentuk SLR, pada tahun 2005 pengguna boleh membeli kamera ini dengan harga kurang daripada RM5, 000 dan mempunyai resolusi tinggi. Sebagai contoh, kamera digital SLR Nikon D70 boleh dibeli dengan harga kurang daripada RM5, 000 dan mempunyai resolusi 6.0 Megapiksel. Satu lagi contoh ialah kamera digital SLR CanonEOS-20D yang boleh dibeli dengan harga RM5, 000 dan mempunyai resolusi 8.5 Megapiksel.

Menurut Fraser (2002; 2003b), dalam fotogrametri jarak dekat kamera digital boleh dibahagikan kepada tiga (3) jenis iaitu (i) kamera digital amatir yang berharga kurang daripada RM4, 000 dan mampu memberikan ketepatan relatif kurang daripada 1:20, 000; (ii) kamera digital profesional yang berharga kurang daripada RM20, 000 dan mampu memberikan ketepatan relatif kurang daripada 1:100, 000 dan (iii) kamera digital khusus untuk fotogrametri yang berharga kurang daripada RM240, 000 dan mampu memberikan ketepatan relatif kurang daripada 1:200, 000. Contoh kamera digital amatir adalah kamera digital bentuk kompak dan menggunakan konsep '*point and shoot*'. Secara ringkas, pengguna kamera digital kompak boleh menggunakannya dengan mudah untuk mengambil imej digital. Bagi kamera digital profesional, biasanya ia adalah dalam bentuk SLR dan perlu dipelajari cara menggunakannya dengan betul bagi mendapatkan imej digital yang baik. Kamera digital SLR adalah lebih berat daripada kamera digital amatir. Bagi kamera digital fotogrametri, ianya direka khas untuk aplikasi fotogrametri dan mempunyai ciri-ciri kamera metrik. Parameter kalibrasi kamera ini adalah stabil dan dapat memberikan ketepatan yang tinggi. Walaupun kamera digital fotogrametri dapat memberikan hasil yang baik dan berketepatan tinggi, namun tidak ramai individu atau organisasi mampu memiliki dan menggunakannya disebabkan oleh harganya yang mahal..

1.2 Tujuan dan Objektif Kajian

Tujuan utama kajian ini adalah untuk menilai prestasi kamera digital kompak Kodak untuk aplikasi fotogrametri jarak dekat. Bagi mencapai tujuan kajian ini, beberapa objektif telah ditetapkan seperti berikut:

1. Menentukan parameter kalibrasi kamera digital kompak berbagai resolusi berdasarkan beberapa eksperimen.
2. Mendapatkan hubungan diantara resolusi kamera digital kompak dengan ketepatan dan kejituan berdasarkan hasil data titik sasaran yang diproses dengan kaedah fotogrametri jarak dekat digital.
3. Menyediakan satu garis panduan untuk pemilihan kamera digital kompak yang sesuai untuk mendapatkan ketepatan yang dikehendaki.
4. Membuat perbandingan diantara hasil kamera digital kompak dengan kamera digital SLR.
5. Untuk membuktikan bahawa kamera digital kompak berkemampuan untuk mendapatkan ketepatan yang tinggi.

1.3 Pernyataan Masalah

Daripada kajian yang telah dijalankan didapati banyak kamera digital SLR yang terdiri dari berbagai resolusi telah digunakan untuk aplikasi-aplikasi fotogrametri jarak dekat terutama dalam bidang industri dan kejuruteraan (Fraser, 1995; Fraser and Shortis, 1994; 1995; Piepe, 1995; Peipe and Schneider, 1995; Ganci and Shortis, 1996; Dold, 1997; Dold and Maas, 1994; Maas and Kersten, 1994). Ketepatan relatif dalam ruang objek adalah 1: 80,000 (Fraser and Shortis, 1995) dan 1:90,000 (Peipe, 1995) telah diterbitkan dengan menggunakan kamera digital SLR resolusi tinggi. Ketepatan relatif ini adalah sama dengan ketepatan yang diperolehi dengan menggunakan kamera berasaskan filem format sederhana seperti kamera metrik Geodetic Services CRC-2 (Fraser and Shortis, 1995). Ketepatan relatif dihitung dengan membahagikan nilai purata ketepatan koordinat X, Y dan Z bagi

sasaran (diterbitkan daripada pelarasan ikatan 'self-calibration) kepada jarak antara dua titik yang terpanjang dalam ruang objek (Fraser and Shortis, 1995; Ahmad and Chandler, 1999). Kejituan relatif pula diperolehi dengan membahagikan kejituan koordinat X, Y dan Z bagi sasaran kepada jarak antara dua titik yang terpanjang dalam ruang objek. Maka di sini bolehlah dikatakan bahawa kamera digital SLR resolusi tinggi boleh digunakan sebagai alat yang jitu untuk aplikasi fotogrametri jarak dekat (Peipe, 1995; Fraser, 1996b).

Ketepatan relatif boleh diperolehi melalui gabungan geometri jaringan yang kuat, lebihan data (*redundancy*) yang tinggi dan kamera digital yang mempunyai berbagai resolusi. Menurut Dowman (1996), susunan CCD dan saiz piksel adalah ciri-ciri yang sangat penting bagi sesebuah kamera yang ingin digunakan dalam fotogrametri. Ketepatan relatif dan kejituan relatif dalam ruang objek berubah-ubah bukan sahaja berdasarkan resolusi dan saiz penerima kamera digital yang berbeza tetapi keputusan ini bergantung juga oleh faktor-faktor lain seperti saiz sasaran pantulan-retro (Fraser and Shortis, 1995), aturcara pengukuran imej digital yang jitu (Luhman, 1996; Fraser, 1996b) dan teknik-teknik pelarasan ikatan (Luhman, 1996).

Kamera digital boleh digunakan tanpa menyambungkannya dengan komputer semasa proses penggambaran oleh kerana ia mempunyai kemampuan menyimpan imej digital '*on-board*'. Maka kamera digital ini dikenali sebagai sistem pengimejan mudah alih dan sistem luar talian (*off-line*) serta boleh beroperasi seperti kamera berasaskan filem format kecil. Imej dari kamera digital ini boleh digunakan dalam bentuk data titik dan data berterusan. Kebiasaannya data titik digunakan untuk menerbitkan koordinat tiga dimensi bagi titik-titik berselerak di atas objek. Dalam pengukuran industri dan kejuruteraan, biasanya sasaran-sasaran pantulan-retro (*retro-reflective targets*) digunakan dalam medan ujian atau diletakkan pada objek untuk menyediakan data titik. Koordinat tiga dimensi bagi titik-titik berselerak, kedudukan kamera dan parameter-parameter kalibrasi kamera dapat ditentukan dengan menggunakan teknik pelarasan ikatan.

Beberapa penyelidikan telah dilakukan dengan menggunakan sasaran-sasaran pantulan-retro dimana ianya berfungsi menyediakan data titik di dalam medan ujian tiga atau dilekatkan pada objek. Kamera yang digunakan untuk mengambil imej

sasaran-sasaran pantulan-retro adalah berdasarkan kamera digital atau kamera berasaskan filem (Chandler and Padfield, 1996; Fraser and Shortis, 1994; 1995; Peipe, 1995; McIntosh, 1997a; 1997b, Ahmad and Chandler, 1999). Kamera-kamera yang digunakan dalam penyelidikan yang telah dinyatakan di atas mempunyai saiz, resolusi dan jenama yang berbeza-beza. Kejituan dan ketepatan relatif yang diperolehi dengan menggunakan kamera-kamera jenis ini sudah pasti berbeza-beza juga. Sebagai contoh, Chandler dan Padfield (1996) melaporkan bahawa dari penyelidikan mereka ketepatan relatif yang diperolehi adalah 1: 3,800 dan kejituan adalah $\pm 0.16/\pm 7.5 \mu\text{m}$ dengan menggunakan kamera berasaskan filem format 35mm dan 70 mm yang diimbis. Keputusan ini adalah lebih rendah daripada ketepatan relatif 1:80,000 dan kejituan $\pm 0.2/\pm 0.18\mu\text{m}$ yang diperolehi oleh Fraser dan Shortis (1995) di mana mereka menggunakan kamera digital yang lebih tinggi dari segi resolusi iaitu kamera digital SLR Kodak DCS200. Kamera digital ini mempunyai resolusi 1.5 Megapiksel dan saiz penderia ialah 14 x 9.3 mm. Walaubagaimanapun satu keputusan ketepatan relatif yang lebih baik iaitu melebihi 1:100,000 telah diperolehi oleh Peipe (1997) yang menggunakan kamera digital resolusi tinggi. Kamera digital yang digunakan mempunyai resolusi 16 Megapiksel dan saiz penderia ialah 60 x 60 mm.

Contoh-contoh di atas menunjukkan bahawa saiz penderia dan resolusi memberi kesan kepada ketepatan dan kejituan data fotogrametri yang dihasilkan. Dari kajian literatur yang telah dijalankan didapati bahawa banyak penyelidikan telah dijalankan menggunakan kamera digital Kodak siri DCS seperti Kodak DCS200, Kodak DCS420 dan Kodak DCS460 (Robson and Shortis, 1998). Kamera-kamera digital ini adalah dalam bentuk SLR di mana pengguna mempunyai kawalan terhadapnya. Walaubagaimanapun harga kamera-kamera digital ini sangat mahal. Dari kajian literatur juga didapati bahawa kamera digital kompak yang menggunakan kaedah '*point and shoot*' sangat kurang digunakan untuk aplikasi fotogrametri jarak dekat (Ahmad and Chandler, 1999). Dalam kajian yang dilakukan oleh Ahmad dan Chandler (1999), kamera digital kompak DC50 telah digunakan bersama-sama dengan kamera digital SLR Kodak DCS420 dan DCS460. Dari kajian itu didapati kamera digital kompak DC50 berpotensi digunakan dalam aplikasi fotogrametri jarak dekat. Pada hari ini kamera digital kompak ada digunakan bersama-sama dengan perisian-perisian fotogrametri jarak dekat kos rendah seperti perisian PhotoModeler

dalam beberapa aplikasi fotogrametri jarak dekat tetapi ketepatan yang dihasilkan tidaklah tinggi (EOS, 1999).

Walaupun kamera digital SLR telah digunakan secara meluas dalam beberapa aplikasi fotogrametri jarak dekat namun kamera digital kompak berpotensi digunakan dalam aplikasi-aplikasi fotogrametri jarak dekat untuk memberikan hasil yang dikehendaki terutama apabila kejituan dan ketepatan yang tinggi tidak diperlukan. Kamera digital kompak boleh diperolehi dalam berbagai resolusi. Sebahagian daripada resolusi kamera digital kompak ini lebih tinggi atau sama dengan resolusi kamera digital bentuk SLR. Sebagai contoh, resolusi kamera digital kompak Kodak DC280 (2.0 Megapiksel; saiz satu piksel ialah 2.73 mikron) adalah lebih tinggi daripada resolusi kamera digital Kodak DCS420 (1.5 Megapiksel; saiz satu piksel ialah 9.0 mikron). Disamping itu kos kamera digital Kodak DCS420 (anggaran RM120,000 pada tahun 1999) lebih mahal berbanding dengan kamera digital Kodak DC280 (anggaran RM3,000 pada tahun 1999). Jika dilihat dari segi kos, secara umum didapati lebih ramai pengguna boleh memiliki kamera digital kompak berbanding dengan kamera digital SLR tetapi adakah prestasi kamera digital kompak lebih baik daripada prestasi kamera digital bentuk SLR. Oleh itu kajian perlu dijalankan untuk melihat prestasi kamera digital kompak yang berbagai resolusi terhadap data fotogrametri dari aspek kejituan dan ketepatan yang dihasilkan. Disamping itu kajian perlu dijalankan untuk mengkaji sama ada kejituan dan ketepatan relatif akan meningkat apabila resolusi kamera digital kompak meningkat kerana dalam kajian literatur didapati bahawa apabila resolusi kamera digital SLR meningkat maka kejituan dan ketepatan relatif yang dihasilkan turut meningkat. Sekiranya kamera digital kompak dapat memberikan hasil yang sama atau lebih baik lagi daripada hasil kamera digital SLR maka pengguna-pengguna bidang fotogrametri jarak dekat mempunyai pilihan bentuk kamera digital yang ingin digunakan bagi sesuatu aplikasi atau projek.

Dalam kajian ini, kamera digital kompak yang mempunyai resolusi rendah, sederhana dan tinggi seperti yang kategorikan oleh Shortis dan Beyer (1996) digunakan dalam lima eksperimen yang berlainan. Disamping itu sebuah kamera digital SLR resolusi tinggi turut digunakan dalam eksperimen sebagai perbandingan.

1.4 Kepentingan Kajian

Bagi ahli fotogrametri, jurutera, saintis dan ahli-ahli professional yang lain, mereka boleh menggunakan kamera digital bersama-sama dengan perisian yang sesuai untuk mendapatkan koordinat tiga dimensi dalam ruang objek atau ruang spatial (contoh, digunakan untuk tujuan pemeriksaan atau pengesahan kualiti), model ketinggian digital (DTM), ortofoto, pelan, keratan rentas, model tiga dimensi (3D) atau produk fotogrametri yang lain. Bagi pengguna fotogrametri jarak dekat, mereka boleh menggunakan kamera digital SLR resolusi tinggi untuk mendapatkan hasil yang baik termasuklah aspek kejituan dan ketepatan relatif yang tinggi. Walaubagaimanapun pengguna fotogrametri jarak dekat boleh juga menggunakan kamera digital kompak di mana sebahagian daripadanya mempunyai resolusi yang tinggi yang dapat memberikan hasil yang baik walaupun hasil ini mungkin tidak dapat menandingi hasil dari kamera digital SLR. Dalam sesesuatu aplikasi fotogrametri atau projek, tahap hasil yang ingin diperolehi tidak semestinya berkejituan dan berketepatan relatif yang tinggi kerana terdapat juga aplikasi atau projek yang hanya memerlukan hasil yang berkejituan dan berketepatan relatif yang sederhana atau rendah. Maka pengguna boleh menggunakan kamera digital kompak untuk mendapatkan hasil pada tahap kejituan dan ketepatan relatif yang rendah ke sederhana. Disamping itu kadangkala pengguna mempunyai kewangan yang terbatas dan tidak mampu memiliki kamera digital SLR bersama-sama dengan perisian yang berkaitan. Masalah ini dapat diatasi dengan menggunakan kamera digital kompak yang murah kosnya (berbanding dengan kos kamera digital SLR) bersama-sama dengan perisian kos rendah untuk mendapatkan hasil yang diperlukan.

1.5 Skop Kajian

Dalam kajian ini dua bentuk medan ujian telah dibina iaitu medan ujian satah (*plane test field*) dan medan ujian tiga dimensi (*three dimensional test field*). Dalam medan-medan ujian ini sasaran pantulan-retro digunakan bagi menyediakan set data titik. Koordinat bagi sasaran pantulan-retro ditentukan dengan menggunakan kaedah

persilangan ‘Total Station’ dan dijadikan sebagai ‘Nilai Terbaik’ atau nilai rujukan. Medan-medan ujian ini digunakan untuk membuat kalibrasi bagi empat kamera digital kompak yang berlainan resolusi.

Selain daripada medan ujian, keempat-empat kamera digital kompak Kodak yang digunakan dalam kajian ini digunakan juga untuk mengambil fotograf model blok yang mempunyai ratusan titik-titik warna hitam kecil yang membentuk suatu bentuk permukaan serta digunakan untuk mengesan anjakan plat sasaran yang berdasarkan kepada set data titik. Koordinat bagi titik-titik yang terdapat di atas model blok dan plat sasaran ditentukan juga dengan menggunakan kaedah persilangan ‘Total Station’. Koordinat ini juga dijadikan sebagai ‘Nilai Terbaik’ atau nilai rujukan. Akhir sekali fotograf satu selinder kecil yang dilekatkan dengan tiga lilitan sasaran pantulan-retro diambil. Koordinat sasaran pantulan-retro ini ditentukan dengan menggunakan sistem fotogrametri digital V-STARS dan dijadikan sebagai ‘Nilai Terbaik’.

Disamping kamera digital kompak Kodak, dalam kajian ini sebuah kamera digital SLR resolusi tinggi turut digunakan dalam kelima-lima eksperimen yang dinyatakan di atas. Tujuan kamera digital SLR digunakan adalah untuk membandingkan hasilnya dengan hasil kamera digital kompak. Secara umum, skop kajian boleh diringkaskan seperti berikut:

- Memperoleh set data titik dengan menggunakan kamera digital kompak dan SLR untuk pengukuran data titik.
- Melaksanakan beberapa eksperimen bagi mendapatkan set data titik.
- Mengenalpasti kriteria yang sesuai untuk membandingkan data di bawah kategori kejituan dan ketepatan.
- Membuat pengesahan keputusan yang diperolehi dari eksperimen yang dijalankan.

1.6 Metodologi Umum dan Had-had Kajian

Bagi menjayakan kajian ini, kaedah penyelidikan yang digunakan ialah dengan melakukan eksperimen. Dalam skop kajian telah dinyatakan bahawa terdapat lima eksperimen yang dilakukan. Dalam kajian ini, sumber utama data adalah imej digital yang diambil dengan menggunakan kamera digital kompak Kodak. Fotograf-fotograf bagi setiap eksperimen diambil dengan menggunakan konfigurasi konvergen. Setelah fotograf diambil ianya dimuat turunkan ke dalam komputer untuk diproses dengan menggunakan perisian komersial. Seterusnya hasil yang diperolehi dianalisa dari aspek kejituan. Hasil yang diperolehi turut dibandingkan dengan 'Nilai Terbaik' atau nilai rujukan untuk mendapatkan ketepatan. Disamping kamera digital kompak Kodak, sebuah kamera digital bentuk SLR juga digunakan dalam kelima-lima eksperimen.

Dalam kajian ini, eksperimen yang dilakukan adalah dalam persekitaran terkawal (*controlled environment*). Bagi saiz sasaran yang digunakan ianya bergantung kepada jenis eksperimen dan tiada eksperimen yang melibatkan variasi saiz sasaran dilakukan. Bagi sesi fotografi, lampu pancaran (*flash*) yang terdapat dalam kamera digital digunakan dan tiada variasi pencahayaan digunakan. Oleh kerana perisian komersial digunakan dalam kajian ini untuk pemprosesan data dan analisis, pembangunan pengaturcaraan tidak dilakukan. Dalam kajian ini, hanya kamera digital kompak jenama Kodak yang mempunyai berbagai resolusi digunakan kerana diperingkat awal kajian hanya kamera-kamera digital kompak ini sahaja yang sedia ada di fakulti. Bagi perbandingan hasil kamera digital kompak Kodak dengan kamera digital SLR, sebuah kamera digital SLR resolusi tinggi telah digunakan dalam kajian ini.

1.7 Kandungan Tesis

Tesis ini terdiri daripada enam bab yang diringkaskan seperti berikut:

Bab pertama menerangkan pengenalan kepada kajian yang dijalankan, tujuan dan objektif kajian, pernyataan masalah, kepentingan kajian dan skop kajian.

Bab kedua adalah kajian literatur yang membincangkan mengenai penggunaan kamera digital dalam fotogrametri jarak dekat. Secara umum, didapati pada hari ini kamera digital telah digunakan secara meluas dalam aplikasi fotogrametri jarak dekat. Terdapat berbagai jenis dan resolusi kamera digital yang telah digunakan. Sebahagian besar kamera digital yang digunakan mempunyai resolusi yang tinggi dan kosnya juga mahal terutama dari jenis SLR. Penggunaan kamera digital kompak yang terdiri dari resolusi rendah ke resolusi tinggi perlu dikaji kerana sangat kurang kajian seumpama ini dilaporkan. Dalam bab ini juga, kaedah kalibrasi kamera digital diterangkan termasuklah persamaan matematik yang digunakan dan beberapa kaedah kalibrasi turut diuraikan.

Bab ketiga menerangkan tentang metodologi kajian. Secara umum, bab ini menerangkan mengenai kaedah yang digunakan untuk mendapatkan fotograf dengan menggunakan kamera digital, kaedah menentukan koordinat titik sasaran atau kawalan dan cara memproses imej digital yang diperolehi. Disamping itu perkakasan dan perisian yang terlibat diterangkan juga. Dalam bab ini penerangan mengenai setiap eksperimen yang terdiri daripada eksperimen medan ujian satah, eksperimen medan ujian tiga dimensi, eksperimen permukaan model, eksperimen anjakan dan eksperimen selinder diterangkan.

Bab keempat menunjukkan hasil bagi kelima-lima eksperimen yang dilakukan dalam kajian ini bagi kamera digital kompak. Hasil bagi kamera digital SLR yang digunakan dalam kelima-lima eksperimen turut ditunjukkan. Begitu juga hasil eksperimen medan ujian satah bagi kamera digital kompak dan SLR ditunjukkan.

Bab kelima membicarakan mengenai kaedah analisis yang dilakukan terhadap hasil yang diperolehi dari setiap eksperimen. Prestasi kamera digital kompak sesama mereka dibandingkan. Prestasi kamera digital kompak turut dibandingkan dengan prestasi kamera digital SLR. Disamping itu analisis dari aspek kejituan dan ketepatan dibincangkan juga.

Bab keenam pula adalah kesimpulan yang dibuat berdasarkan eksperimen-eksperimen yang telah dijalankan. Disamping itu beberapa cadangan untuk memperbaiki kajian ini dan kajian lanjutan dibincangkan dalam bab ini.

BIBLIOGRAFI

Abdul Hamid Tahir (1990). *Asas Fotogrametri*. Johor Bahru: Penerbit UTM.

Abdul Majid Abdul Kadir (1996). *Pelarasan Ukur Lanjutan*. Fakulti Kejuruteraan & Sains Geoinformasi, Universiti Teknologi Malaysia: Monograf.

Abdul Majid Abdul Kadir (1993). *Pelarasan Ukur*. Fakulti Kejuruteraan & Sains Geoinformasi, Universiti Teknologi Malaysia: Monograf.

Abdul Wahid Idris dan Halim Setan (1997). *Pelarasan Ukur*. Kuala Lumpur: Dewan Bahasa dan Pustaka.

Ahmad, A. (1992). *An investigation of low cost photogrammetric systems using small format photography for use in the recording of buildings*. University Of Newcastle Upon Tyne, England : MPhil Thesis

Ahmad, A. and Chandler, J.H. (1999). Photogrammetric capabilities of the Kodak DC40, DCS420 and DCS460 digital cameras. *Photogrammetric Record*, 16(94):601-605.

Anuar Ahmad (1999). Calibration of digital cameras using three dimensional test field. *Proc. of Geoinformation 1999: Conference & Exhibition*. Universiti Teknologi MARA, Shah Alam, Selangor.

Anuar Ahmad (2000a). Kemampuan kamera berdigit berbagai resolusi: Kajian menggunakan medan ujian satah. *Proc. of Geoinformation 2000: Conference & Exhibition*. Universiti Putra Malaysia, Serdang, Selangor.

- Anuar Ahmad (2000b). Kemampuan kamera berdigit: Berpotensi digunakan dalam berbagai aplikasi. *Proc. of the Malaysian Science and Technology Congress (MSTC2000)*, Genting Highland, Pahang.
- Anuar Ahmad and Siti Hamisah Tapsir (2001a). First Malaysian full scale fire test of steel structure: Detection of beam deflection using non-contact measurement. *Proc. of the Malaysian Science and Technology Congress (MSTC2001)*. Tanjung Kling, Melaka.
- Anuar Ahmad and Siti Hamisah Tapsir (2001b). Detection of steel structure deformation using non-contact measurement. *Proc. of the Geoinformation 2001: Conference & Exhibition*. Universiti Sains Malaysia, Pulau Pinang.
- Anuar Ahmad dan Zulkarnaini Mat Amin (1998). *Unsur-unsur Fotogrametri*. Penerbit Universiti Teknologi Malaysia: Terjemahan.
- Anuar Ahmad, Halim Setan dan Ho Wai Khuen (2000a). Fotogrametri berdigit: Aplikasi untuk pengukuran dimensi dalam industri. *Proc. of Geoinformation 2000: Conference & Exhibition*. Universiti Putra Malaysia, Serdang, Selangor.
- Anuar Ahmad, Halim Setan dan Ho Wai Khuen (2000b). Kajian kesesuaian fotogrametri berdigit dalam industri. *Proc. of the Malaysian Science and Technology Congress (MSTC2000)*. Genting Highland, Pahang.
- Anuar Ahmad, Halim Setan dan Mohamed Izzuddin Rozlan (2001b). Penggunaan kamera digital berlainan resolusi dalam pengesanan deformasi. *Proc. of the Malaysian Science and Technology Congress (MSTC2001)*. Tanjung Kling, Melaka.
- Anuar Ahmad, Ibrahim Busu and Ghazali Desa (2002a). Assessment of the impact of digital cameras' resolution on accuracy and precision of targeted points. *Proc. of the International Symposium and Exhibition on Geoinformation 2002*. Kuala Lumpur, Malaysia.

- Anuar Ahmad, Ibrahim Busu and Ghazali Desa (2003a). A digital close range photogrammetry: calibration of different digital sensor using different test field and application. *Proc. of the International Symposium and Exhibition on Geoinformation 2003*. Kuala Lumpur, Malaysia.
- Anuar Ahmad, Zulkepli Majid and Eileen Yap Chin Yueng (2002b). Digital camera calibration using low cost software. *Proc. of the International Symposium and Exhibition on Geoinformation 2002*. Kuala Lumpur, Malaysia.
- Anuar Ahmad, Zulkepli Majid and Mohd Farid Mohd Ariff, (2002c). Medical Photogrammetry: The use of low cost system for modeling human face. *Proc. of the International Symposium and Exhibition on Geoinformation 2002*. Kuala Lumpur, Malaysia.
- Anuar Ahmad, Zulkepli Majid dan Narendran Thangaiah (2001a). Kalibrasi kamera digital dengan perisian fotogrametri kos rendah. *Proc. of Geoinformation 2001: Conference & Exhibition*. Universiti Sains Malaysia, Pulau Pinang.
- Anuar Ahmad, Zulkepli Majid, Albert Chong and Mohamad Ghazali Hashim (2002d). Fossil mapping using photogrammetric method. *Proc. of the International Symposium and Exhibition on Geoinformation 2002*. Kuala Lumpur, Malaysia.
- Anuar Ahmad, Zulkepli Majid and Albert Chong (2003b). Four dimensional motion tracking using low cost digital video camera. *Proc. of International Symposium on Geoinformation and Exhibition 2003*, 13-14 Oktober. 2003, Shah Alam, Selangor, Malaysia.
- Atkinson, K.B. ed. (1996). *Close range photogrammetry and machine vision*. Scotland, U.K: Whittles Publishing.
- Beyer, H. A. (1992). *Geometric and radiometric analysis of a CCD-camera based on photogrammetric close range system*. Institute for Geodesy and Photogrammetry: PhD Thesis.

- Beyer, H. A. (1995). Digital photogrammetry in industrial applications. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 30(5W1). 373-378.
- Bockaert, V. (2005). Digital photography review. (<http://www.dpreview.com>)
- Boniface, P.R. (1994). State-of-the-art in softcopy photogrammetry. *Proc. of the 21st Century Mapping and Remote Sensing Tools*. Singapore.
- Bosemann, W. (1996). The optical tube measurement system OLM-Photogrammetric methods used for industrial automation and process control. *Proc. of the International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. 31(B5):55-58.
- Bosemann, W. (1998). Photogrammetric solutions for industrial automation and process control. *Photogrammetric Record*. 16(92). 87-197.
- Bruce, F., Gould, P.A. and Johnson, S. (1995). Opportunities: Digital photography holds out the promise of a filmless future, but do today's camera deliver? *MacUser Photo*. 11. 10-15
- Bryan, P.G. and Clowes, M. (1997). Surveying Stonehenge by photogrammetry. *Photogrammetric Record*. 15(89). 739-752.
- Butler, J.B., Lane, S.N. and Chandler, J.H. (1998). Assessment of DEM quality for characterizing surface roughness using close range digital photogrammetry. *Photogrammetric Record*. 16(92). 271-291.
- Chandler, J.H. and Brunsden, D. (1995). Steady state behaviour of the Black Ven mud slide: The application of archival analytical photogrammetry to studies of landform change. *Earth Surface Process and Landforms*. 20. 255-275.
- Chandler, J.H. and Clark, J.S., (1992). The archival photogrammetric technique: further application and development. *Photogrammetric Record*. 14(80). 241-247.

- Chandler, J.H. and Cooper, M.A.R. (1989). The extraction of positional data from historic photographs and their application in geomorphology. *Photogrammetric Record*. 13(74). 69-78.
- Chandler, J.H. and Padfield, C.J. (1996). "Automated digital photogrammetry on a shoestring." *Photogrammetric Record*. 15(88). 545-559.
- Chandler, J.H., Lane, S.N. and Richards, K.S. (1996). The determination of water surface morphology at river channel confluences using automated digital photogrammetry and their consequent use in numerical flow modeling. *Proc. of the International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. 31(7). 100-110.
- Chen, J. and Clarke, T.A. (1992). The automatic recognition, location and labelling of targets in digital photogrammetric engineering measurement. *Proc. of the International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. 29(5) 686-693.
- Chong, A. (2002). Komunikasi peribadi.
- Chong, A. (2003). Komunikasi peribadi.
- Chong, A., Zulkepli Majid & Anuar Ahmad. (2003). Photogrammetric technique for fossil recording. *Proc. of American Society of Photogrammetry & Remote Sensing (ASPRS)*, May, 2003, ALASKA
- Cooper, M.A.R. (1974). *Fundamentals of survey measurement and analysis*. London: Granada Publishing.
- Cooper, M.A.R. and Cross, P.A. (1988). Statistical concepts and their application in photogrammetry and surveying. *Photogrammetric Record*. 12(71). 637-663.

- Cooper, M.A.R. and Cross, P.A. (1991). Statistical concepts and their application in photogrammetry and surveying (continued). *Photogrammetric Record*. 13(77). 645-678.
- Cooper, M.A.R. and Robson, S. (1996). Theory of close range photogrammetry. In Atkinson K.B. *Close range photogrammetry and machine vision*. Scotland, U.K: Whittles Publishing. 106-155.
- Cooper, M.A.R., (1987). *Control surveys in civil engineering*. New York, USA: BSP Professional Books.
- Cross, P.A. (1983). *Advanced least squares applied to position fixing*. North East London Polytechnic: Working Paper 6.
- Dold, J. (1997). High resolution data acquisition to observe moving object. *Proc. of the International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. 31(B5). 471-474.
- Dold, J. (1998). The role of a digital intelligent camera for the automation in industrial photogrammetry. *Photogrammetric Record*. 16(92). 87-197.
- Dold, J. and Maas, H.G. (1994). An application of epipolar line intersection in a hybrid close range photogrammetric system. *Proc. of the International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. 30(5). 65-70.
- Dowman, I. (1996). Fundamentals of digital photogrammetry. In Atkinson, K.B. *Close range photogrammetry and machine vision*. Scotland, U.K: Whittles Publishing. 52-77.
- Drummond, J.E., Tait, D.A. and Zamlope, Z. (1997). Building a costal GIS using digital photogrammetry. *Photogrammetric Record*. 15(90). 862-874.

- El-Hakim, S.F. (1992). Application and performance evaluation of a vision-based automated measurement system. *Proc. of the Videometrics*. SPIE 1820. 181-195.
- EOS, (1999). *PhotoModeler Pro User Manual*. Eos System Inc. Vancouver, Canada.
- Faig, W. (1989). Non-metric and semi-metric cameras : Data reduction. In Karara, H.M. *Non-Topographic Photogrammetry*. Virginia: USA: American Society of Photogrammetry and Remote Sensing.
- Faig, W., El-Habrouk, H., Li, X.P. and Hosny, M. (1996). A comparison of the performance of digital and conventional non-metric cameras for engineering applications. *Proc. of the International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. 31(B5). 147-151.
- Fazli Abdul Rahman, Halim Setan, Anuar Ahmad, Zulkepli Majid and Albert Chong. (2003). The optimum design of a camera calibration test field for an image acquisition system. *Proc. of International Symposium on Geoinformation and Exhibition 2003*, 13-14 Oktober. 2003, Shah Alam, Selangor, Malaysia.
- Fraser, C.S. (1982a). On the use of non-metric cameras in analytical close range photogrammetry. *Canadian Surveyor*. 36(3). 259-279.
- Fraser, C.S. (1982b). Film unflatness effects in analytical non-metric photogrammetry. *Proc. of the International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. 24(5). 156- 166.
- Fraser, C.S. (1989). Optimization of networks in non-topographic photogrammetry. In Karara, H.M. *Non-Topographic Photogrammetry*. Virginia, USA. American Society of Photogrammetry and Remote Sensing. 95-106.
- Fraser, C.S. (1995). Vision-based optical triangulation system for large scale dimensional metrology. *Proc. of the Australia Metrology Conference*. Australia.

- Fraser, C.S. (1996a). Network Design. In Atkinson, K.B. *Close range photogrammetry and machine vision*. Scotland, U.K : Whittles Publishing. 256-281.
- Fraser, C.S. (1996b). Industrial measurement applications. In Atkinson, K.B. *Close range photogrammetry and machine vision*. Scotland, U.K : Whittles Publishing. 329-361.
- Fraser, C.S. (1996c). Design aspect of utilizing digital photogrammetry for deformation measurements. *Proc. of the 8th FIG International Symposium on Deformation Measurements*. Hong Kong.
- Fraser, C.S. (1997a). Digital camera self-calibration. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*. 52. 149-159.
- Fraser, C.S. (1997b). Innovations in automation for vision metrology systems. *Photogrammetric Record*. 15(90). 901-912.
- Fraser, C.S. (1997c). Automation in digital close-range photogrammetry. *Proc. of the First Trans Tasman Surveyors Conference*. Newcastle, Australia.
- Fraser, C.S. (2001). *Australis User Manual*, Version 5.05. Melbourne, Australia.
- Fraser, C.S. (2002). Automated close range photogrammetry: New developments and applications. *Proc. of the International Symposium and Exhibition on Geoinformation 2002*. Kuala Lumpur, Malaysia.
- Fraser, C.S. (2003a). Komunikasi peribadi.
- Fraser, C.S. (2003b). Development in close range photogrammetry. *Proc. of the International Symposium and Exhibition on Geoinformation 2003*. Shah Alam, Selangor, Malaysia.
- Fraser, C.S. (2005). Komunikasi peribadi.

- Fraser, C.S. and Edmundson, K.L. (1996). The metric impact of reduction optics in digital cameras. *Photogrammetric Record*. 15(87). 437-446.
- Fraser, C.S. and Legac, A. (1994). Industrial applications of a single –sensor vision metrology. *Proc. of the International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. 30(B5). 82-86.
- Fraser, C.S. and Shortis, M.R. (1994). Vision metrology in industrial inspection: a practical evaluation. *Proc. of the International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. 30(5). 102-108.
- Fraser, C.S. and Shortis, M.R. (1995). Metric exploitation of still video imagery. *Photogrammetric Record*. 15(85). 107-122.
- Fryer, J. (1989). Camera calibration in non-topographic photogrammetry. In Karara, H.M. *Non-Topographic Photogrammetry*. Virginia, USA: American Society of Photogrammetry and Remote Sensing. 59-70.
- Fryer, J. (1996a). Introduction. In Atkinson, K.B. *Close range photogrammetry and machine vision*. Scotland, U.K: Whittles Publishing. 1-7.
- Fryer, J. (1996b). Camera calibration. In Atkinson, K.B. *Close range photogrammetry and machine vision*. Scotland, U.K: Whittles Publishing. 156-179.
- Fryer, J. (1996c). Single station self-calibration techniques. *Proc. of the International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. 31(B5). 178-181.
- Gabet, L., Giraudon, G. and Renouard, L. (1997). Automatic generation of high resolution urban zone digital elevation models. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*. 52. 33-47.

- Ganci, G. and Shortis, R. (1995a). Videometric as built surveys during the manufacture of a furnace hopper. *Proc. of the 3rd Symposium on Surveillance and Monitoring Surveys*. Melbourne, Australia. 59-69.
- Ganci, G. and Shortis, R. (1995b). The use of digital photogrammetry for large scale metrology. *Proc. of the 5th South East Asian and 36th Australian Surveyors Congress*. Singapore. 247-261.
- Ganci, G. and Shortis, R. (1996). A comparison of the utility and efficiency of digital photogrammetry and industrial theodolite systems. *Proc. of the International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. 31(5). 182-187.
- Geodetic Services Inc. (GSI)(2002). V-STARS . (<http://www.geodetic.com>)
- Georgopoulos, A. and Makkis, G.N. (1997). Low cost digital rectification on a PC. *Photogrammetric Record*. 15(89). 703-714.
- Granshaw, S.I. (1980). Bundle adjustment methods in engineering photogrammetry. *Photogrammetric Record*. 10(56). 181-207.
- Grun, A. (1978). Accuracy, reliability and statistics in close range photogrammetry. *Proc. of the Inter Congress Symposium, Commission V, International Society for Photogrammetry*.
- Grun, A. (1980). Precision and reliability aspects in close range photogrammetry. *Proc. of the XIVth Congress for Photogrammetry*. Germany.
- Gulch, E. (1994). Fundamentals of softcopy photogrammetric workstations. *Proc. of the Mapping and Remote Sensing Tools for the 21st Century*. 193-204.
- GSI., 1997. INCA camera. Geodetic Services Inc.(<http://geodetic.com>).

- Haggeren, H. and Pekkinen, P. (1992). Stability control of photogrammetric stations. *Proc. of the Working Group Sessions for IUSM, XV11 Congress of ISPRS*, Washington, D.C., USA. 20-28.
- Halim Setan dan Ranjit Singh (2000a). *Ukur Deformasi I*. Fakulti Kejuruteraan & Sains Geoinformasi, Universiti Teknologi Malaysia: Monograf.
- Halim Setan dan Ranjit Singh (2000b). *Ukur Deformasi I*. Fakulti Kejuruteraan & Sains Geoinformasi,Universiti Teknologi Malaysia: Monograf.
- Harvey, B.R. (1993). *Practical least squares and statistics for surveyors*. School of Surveying, University of New South Wales, Australia : Monograf.
- Heipke, C. (1997a). Automation of interior, relative and absolute orientation. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*. 52. 1-19.
- Heipke, C. (1997b). Automation of interior, relative and absolute orientation. *Proc. of the International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. 31(B3). 297-311.
- Hohle, J. (1996). What cell size does the computed slope/aspect angle represent? *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 62(10).1189-1194.
- Hottier, P. (1976). Accuracy of close-range analytical restitutions: practical experiments and prediction. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 42(3). 347-375.
- Karara, H.M. ed. (1979). *Handbook of Non-Topographic Photogrammetry*. Virginia, USA: American Society of Photogrammetry and Remote Sensing.
- Karara, H.M. ed. (1989). *Non-Topographic Photogrammetry*. Virginia, USA: American Society of Photogrammetry and Remote Sensing.

- Karara, H.M. and Abdel-Aziz, Y.I., 1974. Accuracy aspects of non-metric imageries, *Photogrammetric Engineering*, 40(9). 1107-1117
- Kennie, T.J.M. and Petrie, G. eds. (1990). *Engineering Surveying Technology*. USA: Blackie and Son Ltd.
- Kolbl, O. (1996). Executive summary. *Proc. of the OEEPE Workshop on the applications of Digital Photogrammetric Workstations*. Lausanne, France.
- Koutsoyiannis, A. (1977). *Theory of Econometrics*. London: Macmillan Education Ltd.
- Kraus, K. (1993). *Photogrammetry. Volume 1: Fundamentals and standard processes*. Bonn, Germany: Dummler
- Kyle, S. (1997). Industrial measurement 1: the Axyz package. *Surveying World*. 5(2). 20-25.
- Lane, S.N. (1994). *Monitoring and modelling morphology, flow and sediment transport in a gravel-bed stream*. University of Cambridge, England: PhD Thesis.
- Lane, S.N., Chandler, J.H and Richards, K.S. (1997). *Automated close range photogrammetry for determination of the roughness of flume channel surfaces*. EPSRC Research Proposal. Tidak diterbitkan.
- Lee, C.K. and Faig, W. (1996). Vibration monitoring with video cameras. *Proc. of the International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. 31(B5). 152-159.
- Li, Z. (1988). On the measure of digital terrain model accuracy. *Photogrammetric Record*, 12(72). 873-877.

- Litchi, D.D. and Chapman, M.A. (1996). Evaluation of the Finite Element Method of self-calibration for photogrammetric deformation measurements. *Proc. of the 8th FIG International Symposium on Deformation Measurements*. Hong Kong.
- Litchi, D.D. and Chapman, M.A. (1997). Contrained FEM self-calibration. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 63(9). 111-1120.
- Luhmann, T. (1996). Results of the German comparison test for digital point operators. *Proc. of the International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. 31(B5). 324-329.
- Maas, H.G. and Kersten, T.P. (1994). Experiences with a high resolution still video camera in digital photogrammetric applications on a shipyard. *Proc. of the International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. 30(5). 250-255.
- Macklin, B., Brade, R., Hurd, F., Mills, S.F., Sanders, S., Stokes, R. and Tait, J. (1998). Engineering a remote survey of JET's divertor structure under conditions of restricted access using digital photogrammetry. *Photogrammetric Record*. 16(92). 213-223.
- Marshall, A.R. (1989). *Network design and optimisation in close range photogrammetry*. University of New South Wales, Australia: MPhil Thesis.
- McIntosh, K. (1997a). A calibration procedure for CCD array cameras. *Proc. of the International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. 31(B1). 250-255.
- McIntosh, K. (1997b). "Digital cameras: Calibration techniques and applications." *Proc. of the First Trans Tasman Surveyors Conference*. Newcastle, Australia. 301-309.

- Mikhail, E.M. and Gracie, G. (1981). *Analysis and adjustment of survey measurements*. New York: Von Nostrand Reinhold Company.
- Mikhail, E.M., Bethel, J.S and McGlone, J.C. (2001). *Modern Photogrammetry*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Mills, J.P. and Newton, I. (1996a). A new approach to the verification and revision of large scale mapping. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*. 51. 17-27.
- Mills, J.P. and Newton, I. (1996b). Aerial photography for survey purposes with a high resolution, small format, digital camera. *Photogrammetric Record*. 15(88). 575-587.
- Mills, J.P., Newton, I. And Twiss, S.D. (1997). Photogrammetry from archived digital imagery for seal monitoring. *Photogrammetric Record*. 15(89). 715-724.
- Mohd. Farid Mohd. Ariff, Halim Setan, Zulkepli Majid, Anuar Ahmad and Albert Chong. (2003). Design and calibration of a prototype stereo-image acquisition system. *Proc. of International Symposium on Geoinformation and Exhibition 2003*, 13-14 Oktober. 2003, Shah Alam, Selangor, Malaysia.
- Mulder, J. and Smith, G. (1997). Industrial measurement 11: NZ's centre of excellence. *Surveying World*. 5(2). 26-29.
- Mustaffa, M. (1997). *Accuracy improvement in area-based image matching for automated surface measurement in digital photogrammetry*. University of Newcastle, Australia: PhD Thesis.
- Mushairry Mustaffa (2000). *Kursus pendek aplikasi imej foto digital untuk pengukuran dan permodelan*. CGIA & CIMES, Fakulti Kejuruteraan & Sains Geoinformasi, Universiti Teknologi Malaysia.

- Peipe, J. (1995). Photogrammetric investigation of a 3, 000 x 2, 000 pixel high resolution still video camera. *Proc. of the International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. 30(5W1). 36-39.
- Peipe, J. (1997). Photogrammetric performance evaluation of a 4 096 x 4 096 pixel digital camera. *Photogrammetric Record*. 15(89). 803-805.
- Peipe, J. and Schneider, C.T. (1995). High resolution still video camera for industrial photogrammetry. *Photogrammetric Record*. 15(85). 135-139.
- Pettersen, A. (1992). Metrology Norway system-on-line industrial photogrammetry system. *Proc. of the International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. 29(B5). 43-49.
- Petrie, G. and Walker, A.S., 1996. Digital Photogrammetric Workstations 1992-96. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. Vol. 31, B2, 384-395.
- Photomodeler (2003). (<http://www.photomodeler.com>)
- Pyle, C.J., Richards, K.S. and Chandler, J.H. (1997). Digital photogrammetric monitoring of river bank erosion. *Photogrammetric Record*. 15(89). 753-764.
- Robson, S. and Cooper, M.A.R. (1995). Digital photogrammetric monitoring of small scale structural deformation. *Proc. of the 3rd Symposium on Surveillance and Monitoring Surveys*. Melbourne, Australia. 120-130.
- Robson, S. and Setan, H., (1996). The dynamic photogrammetric measurement and visualisation of a 21m wind turbine rotor blade undergoing structural analysis. *Proc. of the International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. 31(B5). 493-498.

- Robson, S. and Shortis, M. (1998). Practical influences of geometric and radiometric image quality provided by different digital camera systems. *Photogrammetric Record*. 16(92). 225-248.
- Rollei Fototechnic GmbH (1997). *Rollei Q16 Meric Camera-high resolution digital measuring camera with 4k x 4k*. Special Issue, Hannover.
- Ruther, H. (1989). An overview of software in non-topographic photogrammetry. In Karara, H.M. *Non-Topographic Photogrammetry*. Virginia, USA: American Society of Photogrammetry and Remote Sensing. 129-145.
- Saleh, R.A., Scarpace, F.L. and Dahman, N.A. (1994). Softcopy photogrammetric system evaluation for production environment. *Proc. of the Mapping and Remote Sensing Tools for the 21st Century*. 211-222.
- Schneider, C.T. (1996). DPA-Win-PC based digital photogrammetric station for fast and flexible on-site measurement. *Proc. of the International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. 31(B5). 530-533.
- Schofield, W. (1993). *Engineering Surveying*. 4th ed. Butterworth-Heinemann Ltd.
- Setan, H. (1997). A flexible analysis procedure for geometrical detection of spatial deformation. *Photogrammetric Record*. 15(90). 841-861.
- Setan, H. (1995). *Functional and stochastic models for geometrical detection of spatial deformation in engineering: a practical approach*. City University, London: PhD Thesis.
- Shackleton, C. (1997). Digital stereoplotters-a tool for graphical visualisation. *Engineering Surveying Showcase '97*. 20-23.
- Shiono, K. and Chandler, J.H. (1997). *Turbulent structure in meandering channels with mobile beds for overbank flow*. EPSRC Research Proposal. Tidak diterbitkan.

- Short, T., (1994). *User Manual Of General Adjustment Program (GAP)*. Department of Civil Engineering, City University, London.
- Shortis, M.R. and Beyer, H.A. (1996). Sensor technology for digital photogrammetry and machine vision. In Atkinson, K.B. *Close range photogrammetry and machine vision*. Scotland, U.K: Whittles Publishing. 106-155.
- Shortis, M.R. and Snow, W.L. (1997). Videometric tracking of wind tunnel aerospace models at NASA Langley Research Centre. *Photogrammetric Record*, 15(89). 673-690.
- Shortis, M.R., Robson, S. and Beyer, H.A. (1998). Principal point behaviour and calibration parameter model for Kodak DCS cameras. *Photogrammetric Record*. 16(92). 665-672.
- Simmons, G. (1996). Digital mapping: A base for information and design. *Engineering Surveying Showcase*. 552-553.
- Singh, R., Chapman, D.P. and Atkinson, K.B. (1997). Digital photogrammetry for automatic close range measurement of textureless and featureless objects. *Photogrammetric Record*. 15(89). 691-702.
- Slama, C.C. ed. (1980). "Manual of Photogrammetry." 4th ed. Virginia, USA: American Society of Photogrammetry and Remote Sensing.
- Smith, M.J., Smith, D.G., Tragheim, D.G. and Holt, M., 1997. DEMs and ortho-images from aerial photographs. *Photogrammetric Record*. 15(90). 945-950. St. Malo, USA.
- Stanbridge, R. (1997). Photogrammetry-the tool for all seasons or when is a total station not? *Engineering Surveying Showcase '97*. 8-19.

- Thompson, M.M. and Gruner, H. (1980). Foundation of photogrammetry. in Slama, C.C. *Manual of Photogrammetry*. Virginia, USA: American Society of Photogrammetry. 1-36.
- Uren, J. (1995). Yes, but precisely how accurate are you? *Engineering Surveying Showcase '95*. 9-15.
- Uren, J. and Price, W.F. (1994). *Surveying for Engineers*. London: The MacMillan Press Ltd.
- Vision Metrology Services (VMS)(2003). Metrology Services Unit, University of Melbourne, Australia. (<http://www.sli.unimelb.edu.au/vms>).
- Walker, A.S. (1997). Practical automation in commercial digital photogrammetry. *Photogrammetric Record*. 15(89). 665-672.
- Warner, W.S. and Slaattelid, B.R. (1997). Multiplotting with images from the Kodak DCS 420 digital camera. *Photogrammetric Record*. 15(89). 665-672.
- Wolf, P.R. (1983). *Elements of Photogrammetry*. New York, USA: McGraw-Hill.
- Wolf, P.R. and Dewitt, B.A. (2000). *Elements of Photogrammetry with applications in GIS*. New York, USA: McGraw-Hill.
- Zulkepli Majid (1999). *Kalibrasi kamera video menggunakan kaedah Direct Linear Transformation (DLT)*. Universiti Teknologi Malaysia: Tesis Sarjana.